

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-201998

(P2002-201998A)

(43) 公開日 平成14年7月19日 (2002.7.19)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

F 0 2 D 45/00

識別記号

3 6 6

3 5 8

3 7 0

9/02

3 5 1

F I

F 0 2 D 45/00

9/02

テ-マ-ト\*(参考)

3 6 6 E 3 G 0 6 U

3 U 8 M 3 G 0 8 4

3 7 0 B 3 G 0 9 3

R 3 G 3 0 1

3 U 1 M

審査請求 未請求 請求項の数16 O L (全 26 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2001-299558(P2001-299558)

(22) 出願日 平成13年9月28日(2001.9.28)

(31) 優先権主張番号 特願2000-342369(P2000-342369)

(32) 優先日 平成12年11月6日(2000.11.6)

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000004260

株式会社デンソー

愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地

(72) 発明者 八木 豊児

愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 株式会

社デンソー内

(74) 代理人 100098420

弁理士 加古 宗男

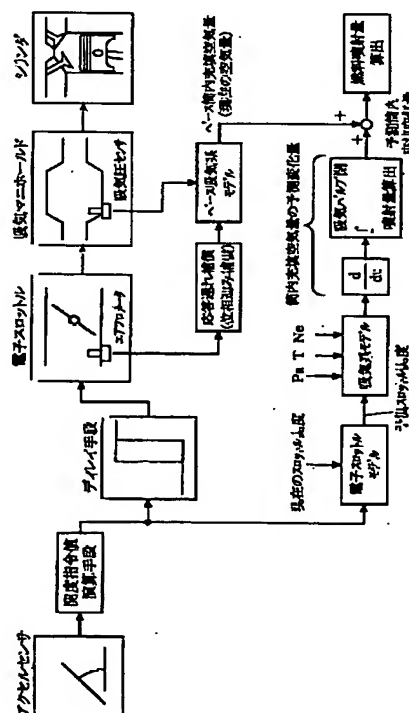
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 内燃機関の制御装置

(57) 【要約】

【課題】 過渡時の筒内充填空気量の演算精度を向上させる。

【解決手段】 エンジン運転中は、アクセル操作量等に応じて開度指令値を設定し、この開度指令値の出力タイミングを所定の遅延時間だけ遅延させる。遅延前の開度指令値に基づいて電子スロットルモデルによりスロットル開度の予測変化量を演算し、この予測変化量を現在のスロットル開度（スロットル開度センサの出力）に加算して、吸気バルブ閉タイミングの予測スロットル開度を求める。そして、この予測スロットル開度を用いて吸気系モデルにより仮の予測筒内充填空気量を演算し、これを微分・積分処理して吸気バルブ閉タイミングまでの筒内充填空気量の予測変化量を演算する。この予測変化量をベース吸気系モデルにより演算したベース筒内充填空気量に加算して、最終的な予測筒内充填空気量（吸気バルブ閉タイミングで確定する筒内充填空気量）を求める。



BEST AVAILABLE COPY

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 スロットルバルブをスロットルアクチュエータで駆動してスロットル開度を制御する電子スロットルシステムを備えた内燃機関において、アクセル操作量等に基づいて開度指令値を演算する開度指令値演算手段と、前記開度指令値演算手段で演算した開度指令値を前記スロットルアクチュエータに出力するタイミングを遅延させるディレイ手段と、前記ディレイ手段で遅延させる前の開度指令値と前記電子スロットルシステムの応答遅れ特性とに基づいて該開度指令値の遅延出力前にその後のスロットル開度を予測するスロットル開度予測手段と、前記スロットル開度予測手段で予測したスロットル開度に基づいて筒内充填空気を予測する筒内充填空気量予測手段と、前記筒内充填空気量予測手段で予測した筒内充填空気量に基づいて燃料噴射量を演算する燃料噴射量演算手段とを備えていることを特徴とする内燃機関の制御装置。

$$G_{in} = \mu \cdot A \cdot \frac{P_a}{\sqrt{R \cdot T}} \cdot f(P_m/P_a)$$

$G_{in}$  : スロットル通過空気量[kg/sec]

$\mu$  : 流量係数

$A$  : スロットル開口有効断面積[m<sup>2</sup>]

$P_a$  : 大気圧[Pa]

$P_m$  : 吸気圧[Pa]

$R$  : 気体定数

$T$  : 吸気温度[K]

$f(P_m/P_a)$  : 吸気圧 $P_m$ と大気圧 $P_a$ の比で決まる物理値

$$A = \pi r^2 (1 - \cos^2 \theta)$$

$r$  : スロットルバルブの半径[m]

$\theta$  : スロットル開度

に設定され、

前記筒内充填空気量予測手段は、前記スロットル通過空気量を演算する際に、 $f(P_m/P_a)$ は $P_m/P_a$ をパラメータとするテーブルから算出し、 $\mu \cdot A$ はスロットル開度をパラメータとするテーブルから算出することを特徴とする請求項3に記載の内燃機関の制御装置。

【請求項5】 前記スロットル通過空気量の演算に用いる $f(P_m/P_a)$ のテーブルは、

$P_m/P_a < 1$ のときに $f(P_m/P_a) =$ 正の値

$P_m/P_a = 1$ のときに $f(P_m/P_a) = 0$

$P_m/P_a > 1$ のときに $f(P_m/P_a) =$ 負の値に設定され、

前記筒内充填空気量予測手段は、前記吸気系モデルの演

算値を平均化する手段を有することを特徴とする請求項4に記載の内燃機関の制御装置。

【請求項2】 前記筒内充填空気量予測手段は、前記スロットル開度予測手段で予測したスロットル開度に基づいて吸気バルブ閉タイミングまでの筒内充填空気量の変化量を予測し、この変化量を現在の運転パラメータに基づいて演算したベース筒内充填空気量に加算して筒内充填空気量を予測することを特徴とする請求項1に記載の内燃機関の制御装置。

【請求項3】 前記筒内充填空気量予測手段は、吸入空気が通過するスロットル開口をオリフィスと見なしてスロットル通過空気量とスロットル下流通路を流れる吸入空気に質量保存則を適用した吸気系モデルを用い、この吸気系モデルの出力の変化量を吸気バルブ閉タイミングまで積算することで吸気バルブ閉タイミングまでの筒内充填空気量の変化量を予測することを特徴とする請求項2に記載の内燃機関の制御装置。

【請求項4】 前記吸気系モデルでスロットル通過空気量を演算する式は、

【数1】

算値を平均化する手段を有することを特徴とする請求項4に記載の内燃機関の制御装置。

【請求項6】 前記ディレイ手段は、開度指令値の遅延時間を、ある気筒の燃料噴射量の演算タイミングから当該気筒の吸気バルブ閉タイミングまでの時間から前記電子スロットルシステムの無駄時間を差し引いた時間に設定することを特徴とする請求項1乃至5のいずれかに記載の内燃機関の制御装置。

【請求項7】 前記ディレイ手段は、ある気筒の燃料噴射量の演算タイミングから当該気筒の吸気バルブ閉タイミングまでの時間が前記電子スロットルシステムの無駄時間よりも短くなるときは前記開度指令値を遅延させずに出力することを特徴とする請求項1乃至6のいずれか

に記載の内燃機関の制御装置。

【請求項 8】 前記ディレイ手段は、始動時、始動直後の所定時間内、アイドル運転時、自動変速機がニュートラル状態のいずれかに該当するときは前記開度指令値を遅延させずに出力することを特徴とする請求項 1 乃至 7 のいずれかに記載の内燃機関の制御装置。

【請求項 9】 前記スロットル開度予測手段は、前記ディレイ手段で遅延させる前の開度指令値を入力とする一次以上の遅れ要素と速度リミッタを含む電子スロットルモデルを用いて開度指令値遅延出力後のスロットル開度を予測することを特徴とする請求項 1 乃至 8 のいずれかに記載の内燃機関の制御装置。

【請求項 10】 前記スロットル開度予測手段は、前記電子スロットルモデルを用いて吸気バルブ閉タイミングまでのスロットル開度の変化量を予測し、この変化量を現在のスロットル開度に加算して吸気バルブ閉タイミングのスロットル開度を予測することを特徴とする請求項 1 乃至 9 のいずれかに記載の内燃機関の制御装置。

【請求項 11】 前記燃料噴射量演算手段は、燃料噴射量を運転状態に応じて補正する手段を有し、アクセル操作による負荷変動時とそれ以外の場合とで燃料噴射量に対する補正係数を切り換えることを特徴とする請求項 1 乃至 10 のいずれかに記載の内燃機関の制御装置。

【請求項 12】 スロットルバルブをスロットルアクチュエータで駆動してスロットル開度を制御する電子スロットルシステムを備えた内燃機関において、アクセル操作量等に基づいて開度指令値を演算する開度指令値演算手段と、前記開度指令値演算手段で演算した開度指令値と前記電子スロットルシステムの応答遅れ特性とに基づいて吸気バルブ閉タイミングのスロットル開度を予測するスロットル開度予測手段と、

前記スロットル開度予測手段で予測したスロットル開度に基づいて筒内充填空気を予測する筒内充填空気量予測手段と、

前記筒内充填空気量予測手段で予測した筒内充填空気量に基づいて燃料噴射量を演算する燃料噴射量演算手段とを備えていることを特徴とする内燃機関の制御装置。

【請求項 13】 前記筒内充填空気量予測手段は、前記スロットル開度予測手段で予測したスロットル開度に基づいて吸気バルブ閉タイミングまでの筒内充填空気量の変化量を予測し、この変化量を現在の運転パラメータに基づいて演算したベース筒内充填空気量に加算して筒内充填空気量を予測することを特徴とする請求項 12 に記載の内燃機関の制御装置。

【請求項 14】 現在の運転パラメータに基づいてベース筒内充填空気量を演算するベース筒内充填空気量演算手段と、吸入空気が通過するスロットル開口をオリフィスと見なしてスロットル通過空気量とスロットル下流通路を流れ

る吸入空気に質量保存則を適用した吸気系モデルを用い、この吸気系モデルの出力の変化量に基づいて吸気バルブ閉タイミングまでの筒内充填空気量の変化量を予測する変化量予測手段と、

前記ベース筒内充填空気量演算手段で演算したベース筒内充填空気量に前記変化量予測手段で予測した変化量を加算して筒内充填空気量を予測する筒内充填空気量予測手段と、

前記筒内充填空気量予測手段で予測した筒内充填空気量に基づいて燃料噴射量を演算する燃料噴射量演算手段とを備えていることを特徴とする内燃機関の制御装置。

【請求項 15】 内燃機関の吸気通路を流れる吸入空気の流量を検出する吸入空気流量検出手段と、

スロットルバルブを通過した吸入空気が筒内に流入するまでの吸入空気の挙動を模擬した吸気系モデルを用い、前記吸入空気流量検出手段の出力を該吸気系モデルに投入して該吸気系モデルの出力である筒内充填空気量を演算する演算手段とを備え、

前記吸気系モデルの時定数は、空気量変化が実際よりも早期に現れるように小さい値に設定されていることを特徴とする内燃機関の制御装置。

【請求項 16】 現在のスロットル開度に基づいて現在の筒内充填空気量を推定する手段と、

将来のスロットル開度を予測するスロットル開度予測手段と、

前記将来のスロットル開度に基づいて将来の筒内充填空気量を予測する手段と、

前記将来の筒内充填空気量と前記現在の筒内充填空気量との偏差を現在の運転パラメータに基づいて演算したベース筒内充填空気量に加算して最終的な予測筒内充填空気量を求める手段と、

前記最終的な予測筒内充填空気量に基づいて燃料噴射量を演算する燃料噴射量演算手段とを備えていることを特徴とする内燃機関の制御装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、内燃機関の筒内充填空気量の演算方法を改良した内燃機関の制御装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】将来、益々厳しくなる排出ガス浄化規制に対応するには、空燃比制御（燃料噴射制御）を高精度化する必要がある。そのためには、エンジンの筒内に充填される空気量（筒内充填空気量）を精度良く演算して、その筒内充填空気量に見合った適正な燃料噴射量を設定する必要がある。現在、一般的に使用されている筒内充填空気量の演算方法は、スロットルバルブの上流側に設置したエアフロメータで吸入空気流量を検出して、その検出値から筒内充填空気量を演算する方式（マスフロー方式）と、吸気圧を吸気圧センサで検出して、吸気

圧とエンジン回転速度とから筒内充填空気量を演算する方式（スピードデンシティ方式）とに大別される。

#### 【0003】

【発明が解決しようとする課題】ところで、筒内充填空気量が確定するタイミングは、吸気行程が終了する吸気バルブ閉タイミングであり、燃料噴射量を算出するタイミングは、吸気バルブ閉タイミングよりも前である（筒内に噴射燃料を吸入させるには吸気バルブ閉タイミングよりも前に燃料噴射を実行する必要があるためである）。そのため、前述した従来のマスフロー方式、スピードデンシティ方式のいずれの方法で筒内充填空気量を算出しても、過渡時には、燃料噴射量の算出タイミングから吸気バルブ閉タイミング（筒内充填空気量の確定タイミング）までの間に筒内充填空気量が変化してしまい、その結果、実際の筒内充填空気量と筒内に流入する燃料量との比（空燃比）が目標空燃比からずれてしまい、過渡時の空燃比制御精度が悪くなるという欠点がある。

【0004】本発明はこのような事情を考慮してなされたものであり、従ってその目的は、過渡時の空燃比制御精度を向上させることができる内燃機関の制御装置を提供することにある。

#### 【0005】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために、本発明は、吸気バルブ閉タイミング（筒内充填空気量の確定タイミング）のスロットル開度を予測して、その予測スロットル開度に基づいて筒内充填空気量を予測し、その予測筒内充填空気量に基づいて燃料噴射量を演算するようにしたものである。ここで、筒内充填空気量を予測するパラメータとしてスロットル開度を用いる理由は、筒内充填空気量の変化は、主としてスロットル開度の変化を起源として発生し、過渡時にスロットル開度の変化から筒内充填空気量の変化を応答良く予測できるためである。

【0006】請求項1のように、スロットルバルブをスロットルアクチュエータで駆動してスロットル開度を制御する電子スロットルシステムを備えた内燃機関では、開度指令値をスロットルアクチュエータに出力するタイミングをディレイ手段で適度に遅延させることで、吸気バルブ閉タイミング（筒内充填空気量の確定タイミング）のスロットル開度を予測することが可能となる。こ

の際、電子スロットルシステムの動作には応答遅れ（無駄時間）が存在するため、ディレイ手段で遅延させる前の開度指令値と電子スロットルシステムの応答遅れ特性とに基づいて該開度指令値の遅延出力前にその後のスロットル開度を予測すれば良い。これにより、吸気バルブ閉タイミングのスロットル開度を精度良く予測して、その予測スロットル開度から筒内充填空気量を精度良く予測することが可能となり、過渡時の空燃比制御精度を向上させることができる。

【0007】ところで、予測スロットル開度から筒内充填空気量を予測する方法は、過渡時の応答性が良いという利点があるが、その反面、電子スロットルシステムのばらつきや経時変化、運転条件等によって、定常時の予測値が実際の値からずれる傾向がある。また、定常時は、筒内充填空気量が変わらないため、現在の運転パラメータ（吸入空気流量、吸気圧等）に基づいて演算した筒内充填空気量が、その後の吸気バルブ閉タイミングで確定する筒内充填空気量と一致する。

【0008】そこで、請求項2のように、予測スロットル開度に基づいて吸気バルブ閉タイミングまでの筒内充填空気量の変化量（過渡変化分）を予測し、この変化量を現在の運転パラメータに基づいて演算したベース筒内充填空気量に加算して筒内充填空気量を予測すると良い。このようにすれば、定常時と過渡時の両方で筒内充填空気量を精度良く予測することが可能となる。

【0009】更に、請求項3のように、吸入空気が通過するスロットル開口をオリフィスと見なしてスロットル通過空気量とスロットル下流通路を流れる吸入空気に質量保存則を適用した吸気系モデルを用い、この吸気系モデルの出力の変化量を吸気バルブ閉タイミングまで積算することで、吸気バルブ閉タイミングまでの筒内充填空気量の変化量を予測するようにすると良い。このような吸気系モデルを用いることで、比較的簡単な演算処理で、吸気バルブ閉タイミングまでの筒内充填空気量の変化量を精度良く予測することができる。

【0010】この場合、請求項4のように、吸気系モデルでスロットル通過空気量を演算する式は、次式を用いると良い。

#### 【0011】

【数2】

$$G_{in} = \mu \cdot A \cdot \frac{P_a}{\sqrt{R \cdot T}} \cdot f(P_m/P_a)$$

$G_{in}$  : スロットル通過空気量[kg/sec]

$\mu$  : 流量係数

$A$  : スロットル開口有効断面積[m<sup>2</sup>]

$P_a$  : 大気圧[Pa]

$P_m$  : 吸気圧[Pa]

$R$  : 気体定数

$T$  : 吸気温度[K]

$f(P_m/P_a)$  :  $P_m/P_a > 1$  のとき  $f(P_m/P_a) = \text{負の値}$

$$A = \pi r^2(1 - \cos^2 \theta)$$

$r$  : スロットルバルブの半径[m]

$\theta$  : スロットル開度

【0012】スロットル通過空気量を演算する際に、 $f(P_m/P_a)$  は、 $P_m/P_a$  をパラメータとするテーブルから算出し、 $\mu \cdot A$  は、スロットル開度をパラメータとするテーブルから算出するようにしても良い。これにより、吸気系モデル式の演算処理が極めて簡単になる。

【0013】更に、請求項5のように、 $f(P_m/P_a)$  のテーブルは、

$P_m/P_a < 1$  のときに  $f(P_m/P_a) = \text{正の値}$

$P_m/P_a = 1$  のときに  $f(P_m/P_a) = 0$

$P_m/P_a > 1$  のときに  $f(P_m/P_a) = \text{負の値}$

に設定し、吸気系モデルの演算値を平均化するようにすると良い。後述するように、 $f(P_m/P_a)$  は、物理的には負の値にならないが、 $P_m/P_a > 1$  のときに  $f(P_m/P_a) = 0$  にすると、 $P_m/P_a$  が1付近で変動する高負荷運転時に、吸気系モデルの演算値が振動してハンチングが発生する傾向がある。この原因は、 $P_m/P_a$  が1付近の領域で  $f(P_m/P_a)$  の変化率が大きくなることと、高負荷運転時に演算上  $P_m/P_a$  が1以上になる毎に  $f(P_m/P_a)$  が0でガードされるため、高負荷運転時の  $f(P_m/P_a)$  の変化が不規則になるためである。

【0014】この対策として、請求項5のように  $P_m/P_a > 1$  のときに  $f(P_m/P_a) = \text{負の値}$  とすれば、 $P_m/P_a$  が1付近で変動する高負荷運転時に、 $f(P_m/P_a)$  の変化が規則的なものとなる。このため、吸気系モデルの演算値を平均化することで、高負荷運転時の吸気系モデルの演算値を安定化させることができ、ハンチングを防止することができる。

【0015】また、請求項6のように、ディレイ手段によって遅延させる開度指令値の遅延時間  $T_{dly}$  は、ある気筒の燃料噴射量の演算タイミング（筒内充填空気量の

予測タイミング）から当該気筒の吸気バルブ閉タイミングまでの時間  $T_{inj}$  から電子スロットルシステムの無駄時間  $T_{th}$  を差し引いた時間（ $T_{dly} = T_{inj} - T_{th}$ ）に設定すると良い。このようにすれば、吸気バルブ閉タイミングのスロットル開度を予測スロットル開度と一致させるように開度指令値の遅延時間  $T_{dly}$  を設定することができ、予測スロットル開度の演算が容易となる。

【0016】この場合、電子スロットルシステムの無駄時間  $T_{th}$  は、スロットル駆動速度が変化しても変化しないが、燃料噴射量の演算タイミング（筒内充填空気量の予測タイミング）から吸気バルブ閉タイミングまでの時間  $T_{inj}$  は、エンジン回転速度が高回転になるほど短くなる。このため、高回転時には、燃料噴射量の演算タイミングから吸気バルブ閉タイミングまでの時間  $T_{inj}$  が電子スロットルシステムの無駄時間  $T_{th}$  よりも短くなるおそれがある。

【0017】この点を考慮して、請求項7のように、燃料噴射量の演算タイミングから吸気バルブ閉タイミングまでの時間  $T_{inj}$  が電子スロットルシステムの無駄時間  $T_{th}$  よりも短くなるときは、開度指令値を遅延させずに出力するようにすると良い。このようにすれば、高回転時に、無駄なスロットル遅延制御を行わずに済むと共に、高回転時のスロットル応答性も向上させることができる。

【0018】また、請求項8のように、始動時、始動直後の所定時間内、アイドル運転時、自動変速機がニュートラル状態のいずれかに該当するときは、開度指令値を遅延させずに出力するようにすると良い。始動時や始動直後は、本来的にエンジン回転が不安定であるため、開度指令値を遅延させるスロットル遅延制御を行うと、エンジン回転変動が更に大きくなるおそれがある。また、アイドル運転時は、アイドル回転速度制御（ISC）が

作動してアイドル回転速度をフィードバック制御するため、スロットル遅延制御を行うと、アイドル回転速度制御がスロットル遅延制御と干渉してアイドル回転が不安定になるおそれがある。また、自動変速機がニュートラル状態のときは、運転者がレーシング（エンジンの空吹し）を行う可能性があるため、ニュートラル状態のときに、スロットル遅延制御を行うと、レーシング実行時にエンジン回転速度の立上がりが遅れて、運転者にアクセル応答性・加速性が悪いと感じさせてしまうおそれがある。

【0019】従って、請求項8のように、スロットル遅延制御による悪影響が現れる運転状態の時（始動時、アイドル運転時、ニュートラル時）にスロットル遅延制御を行わないようにすれば、スロットル遅延制御による悪影響を無くすることができる。

【0020】また、請求項9のように、ディレイ手段で遅延させる前の開度指令値を用いて該開度指令値の遅延出力後のスロットル開度を予測する際に、遅延させる前の開度指令値を入力とする一次以上の遅れ要素と速度リミットを含む電子スロットルモデルを用いてスロットル開度を予測するようにすると良い。一般に、電子スロットルシステムは、構造が複雑であるため、これを精密に物理モデル化することは困難であるが、電子スロットルシステムの応答遅れ特性を一次以上の遅れ要素で模擬し、スロットルバルブの駆動速度の限界特性を速度リミットで模擬することによって、演算処理の簡単な電子スロットルモデルを構築することができ、電子スロットルシステムのCPUを特に高性能化しなくても、スロットル開度の予測演算が可能となる。

【0021】また、電子スロットルシステムのばらつき、経時変化、運転条件等によりスロットル開度予測値が実際の値からずれる可能性がある。そこで、請求項10のように、電子スロットルモデルを用いて吸気バルブ閉タイミングまでのスロットル開度の変化量を予測し、この変化量を現在のスロットル開度に加算して吸気バルブ閉タイミングのスロットル開度を予測するようにしても良い。このようにすれば、上記原因によるスロットル開度予測誤差を少なくしてスロットル開度を精度良く予測することが可能となる。

【0022】また、請求項11のように、燃料噴射量を運転状態に応じて補正する際に、アクセル操作による負荷変動時とそれ以外の場合とで燃料噴射量に対する補正係数を切り換えるようにしても良い。つまり、本発明は、アクセル操作による負荷変動に対しては、筒内充填空気量を精度良く予測することができるため、燃料噴射量に対する補正を少なくすることができる。しかし、自動変速機をニュートラルレンジからドライブレンジにシフトした時や、パワーステアリング、ブレーキ、エアコン等による負荷変動は、アクセル操作量からは予測できないため、これらの負荷変動に対しては、燃料噴射量に

対する補正を多くすることが望ましい。

【0023】従って、請求項11のように、アクセル操作による負荷変動時とそれ以外の場合とで燃料噴射量に対する補正係数を切り換えるようにすれば、負荷変動の原因に応じて燃料噴射量の補正を適正化することができる。

【0024】以上説明した請求項1～11に係る発明は、スロットル遅延制御を行うようにしたが、請求項12のように、スロットル遅延制御を行わずに、アクセル操作量等に基づいて演算した開度指令値と電子スロットルシステムの応答遅れ特性とに基づいて吸気バルブ閉タイミングのスロットル開度を予測し、このスロットル開度に基づいて筒内充填空気量を予測するようにしても良い。このようにしても、電子スロットルシステムの無駄時間を利用してスロットル開度を予測して、その予測スロットル開度から筒内充填空気量を精度良く予測することが可能となり、過渡時の空燃比制御精度を向上させることができる。

【0025】この場合も、請求項13のように、予測スロットル開度に基づいて吸気バルブ閉タイミングまでの筒内充填空気量の変化量（過渡変化分）を予測し、この変化量を現在の運転パラメータに基づいて演算したベース筒内充填空気量に加算して筒内充填空気量を予測すると良い。このようにすれば、定常時と過渡時の両方で筒内充填空気量を精度良く予測することが可能となる。

【0026】以上説明した請求項1～13は、本発明を電子スロットルシステム付きの内燃機関に適用したものであるが、スロットル開度をアクセル操作に機械的に連動させる機械式スロットルシステムの場合は、請求項14のように、現在の運転パラメータに基づいてベース筒内充填空気量を演算すると共に、スロットル開口をオリフィスと見なして現在のスロットル開度等からスロットル通過空気量を演算する吸気系モデルを用い、この吸気系モデルの出力の変化量に基づいて吸気バルブ閉タイミングまでの筒内充填空気量の変化量を予測し、この変化量をベース筒内充填空気量に加算して筒内充填空気量を予測し、この筒内充填空気量に基づいて燃料噴射量を演算するようにしても良い。このようにすれば、機械式スロットルシステムの場合でも、筒内充填空気量の演算精度を従来よりも向上させることができ、過渡時の空燃比制御精度を向上させることができる。

【0027】また、上記請求項1～14では、スロットル開度から筒内充填空気量を演算する吸気系モデルを用いたが、吸入空気流量検出手段（エアフロメータ）の出力（吸入空気量）から筒内充填空気量を演算する吸気系モデルを用いる場合は、請求項15のように、吸気系モデルの時定数を、空気量変化が実際よりも早期に現れるように小さい値に設定すると良い。このように、吸気系モデルの時定数を小さくすれば、吸気系モデルで演算した筒内充填空気量の変化が実際よりも早期に現れるた



め、将来の筒内充填空気量を予測するのと同じ効果が得られる。これにより、過渡時の筒内充填空気量の演算精度を従来よりも向上させることができ、過渡時の空燃比制御精度を向上させることができる。

【0028】ところで、前述した請求項2、請求項13では、予測スロットル開度に基づいて吸気バルブ閉タイミングまでの筒内充填空気量の変化量を予測するようにしたが、過渡時には、予測スロットル開度に基づいて筒内充填空気量の変化量を予測してから吸気バルブ閉タイミングまでに機関回転速度等の運転パラメータが変化するため、その影響で、筒内充填空気量の予測精度が低下する。

【0029】この対策として、請求項16のように、現在のスロットル開度に基づいて現在の筒内充填空気量を推定すると共に、将来のスロットル開度を予測して、将来のスロットル開度に基づいて将来の筒内充填空気量を予測し、前記将来の筒内充填空気量と前記現在の筒内充填空気量との偏差（筒内充填空気量の予測変化量に相当）を、現在の運転パラメータに基づいて演算したベース筒内充填空気量に加算して最終的な予測筒内充填空気量を求め、この最終的な予測筒内充填空気量に基づいて燃料噴射量を演算するようにしても良い。このようにすれば、将来の筒内充填空気量と現在の推定された筒内充填空気量との偏差から筒内充填空気量の予測変化量を精度良く求めることができ、筒内充填空気量の予測精度を向上させることができる。なぜなら、現在の推定筒内充填空気量は、最新のエンジン回転速度等の情報が考慮されるためである。（請求項2等では筒内充填空気量の予測値の変化量であり、元となる値は過去に計算されたものである。）

【0030】

【発明の実施の形態】《実施形態（1）》以下、本発明の実施形態（1）を図1乃至図19に基づいて説明する。

【0031】まず、図1に基づいて内燃機関であるエンジン11の制御システム全体の概略構成を説明する。エンジン11の吸気管12の上流側にはエアクリーナ13が装着され、その下流側には吸入空気量を測定するエアフロメータ14が設置されている。このエアフロメータ14は、吸入空気の流れの中に配置される熱線（図示せず）と吸気温度検出素子（図示せず）が内蔵され、吸入空気中で冷やされる熱線の温度と吸気温度との温度差を一定に保つように熱線への供給電流が制御される。これにより、吸入空気流量に応じて変化する熱線の放熱量に応じて熱線への供給電流が変化し、この供給電流に応じた電圧信号が吸入空気流量信号として出力される。

【0032】このエアフロメータ14の下流側には、スロットルバルブ15が設けられ、このスロットルバルブ15の回動軸15aにDCモータ等のモータ17（スロットルアクチュエータ）が連結されている。そして、こ

のモータ17の駆動力によってスロットルバルブ15の開度（スロットル開度）が制御され、このスロットル開度がスロットル開度センサ18によって検出される。

【0033】この場合、アイドル運転時も、モータ17の駆動力によってスロットル開度を制御し、それによって、アイドル運転時の吸入空気量を制御してエンジン回転速度を目標アイドル回転速度に一致させるようにフィードバック制御する。このアイドル運転時のスロットル制御がアイドル回転速度制御（ISC）である。尚、アイドル回転速度制御は、スロットルバルブ15をバイパスするバイパス通路にアイドル回転速度制御バルブ（ISCバルブ）を設けて、アイドル運転時に、このアイドル回転速度制御バルブの開度を制御してバイパス空気量（アイドル運転時の吸入空気量）を制御するようにしても良い。

【0034】一方、スロットルバルブ15の下流側には、吸気圧を検出する吸気圧センサ16が設置されている。また、スロットルバルブ15を通過した吸入空気をエンジン11の各気筒に導入する吸気マニホールド19には、燃料噴射弁20が取り付けられ、また、エンジン11の各気筒のシリンダヘッドには点火プラグ21が取り付けられている。エンジン11のクランク軸22に嵌着されたシグナルロータ23の外周に対向してクランク角センサ24が設置され、このクランク角センサ24から出力されるエンジン回転速度信号Neのパルスが電子制御ユニット（ECU）25に取り込まれ、このエンジン回転速度信号Neの発生周波数によってエンジン回転速度が検出される。

【0035】一方、アクセルペダル26の踏込量（アクセル操作量）がアクセルセンサ27によって検出され、このアクセル操作量に応じた電圧信号が電子制御ユニット25にA/D変換器28を介して取り込まれる。また、エアフロメータ14、吸気圧センサ16、スロットル開度センサ18等の各種センサの出力も、電子制御ユニット25にA/D変換器28を介して取り込まれる。

【0036】この電子制御ユニット25は、CPU29、ROM30、RAM31等を備えたマイクロコンピュータを主体として構成され、ROM30に記憶されているスロットル制御用の各種プログラムをCPU29で実行することで、通常のスロットル制御時には、アクセル操作量等に基づいて設定された開度指令値（目標スロットル開度）に応じてモータ駆動回路32を介してモータ17をPID制御等によりフィードバック制御し、このモータ17の駆動力によってスロットル開度を開度指令値に制御する。尚、モータ駆動回路32からモータ17への通電路中には、リレー等からなる安全回路46が設けられ、電子スロットルシステムの異常時には、この安全回路46が作動してモータ17への通電を遮断するようになっている。

【0037】更に、この電子制御ユニット25は、ROM30に記憶されている図10乃至図18の各ルーチンをCPU29で実行することで、後述するスロットル遅延制御を行うと共に、吸気バルブ閉タイミング（筒内充填空気量の確定タイミング）のスロットル開度を予測して、その予測スロットル開度に基づいて筒内充填空気量を予測し、その予測筒内充填空気量に基づいて燃料噴射量を演算し、その演算結果に応じたパルス幅の噴射パルスを駆動回路45に出力して、燃料噴射弁20の噴射時間（燃料噴射量）を制御する。

【0038】この電子制御ユニット25による燃料噴射量の演算方法を図2乃至図9に基づいて説明する。図2は、スロットル遅延制御と筒内充填空気量の予測方法の概要を示すブロック線図である。エンジン運転中は、アクセル操作量がアクセルセンサ27によって検出され、開度指令値演算手段によってアクセル操作量等に応じてマップ等により開度指令値（目標スロットル開度）が設定される。この開度指令値は、ディレイ手段で所定時間T<sub>dly</sub>遅延されて電子スロットルシステムのモータ駆動回路32に出力される。この開度指令値の遅延時間T<sub>dly</sub>は、図3に示すように、ある気筒の燃料噴射量TAUの演算タイミング（筒内充填空気量の予測タイミング）から当該気筒の吸気バルブ閉タイミングまでの時間T<sub>inj</sub>から電子スロットルシステムの無駄時間T<sub>th</sub>を差し引いた時間（T<sub>dly</sub> = T<sub>inj</sub> - T<sub>th</sub>）に設定される。

【0039】この場合、電子スロットルシステムの無駄時間T<sub>th</sub>は、スロットル駆動速度が変化しても変化しないが、燃料噴射量TAUの演算タイミング（筒内充填空気量の予測タイミング）から吸気バルブ閉タイミングまでの時間T<sub>inj</sub>は、エンジン回転速度が高回転になるほど短くなる。このため、高回転時には、燃料噴射量の演算タイミングから吸気バルブ閉タイミングまでの時間T<sub>inj</sub>が電子スロットルシステムの無駄時間T<sub>th</sub>よりも短くなるおそれがある。

【0040】この点を考慮して、本実施形態（1）では、燃料噴射量TAUの演算タイミングから吸気バルブ閉タイミングまでの時間T<sub>inj</sub>が電子スロットルシステムの無駄時間T<sub>th</sub>よりも短くなるときは、開度指令値を遅延させずに出力する。

【0041】一方、ディレイ手段で遅延させる前の開度指令値φ<sub>total</sub>は、電子スロットルモデルに入力される。この電子スロットルモデルは、図4に示すように、電子スロットル動特性モデル部と変化量演算部とから構

成されている。この電子スロットル動特性モデル部は、電子スロットルシステムの応答遅れ特性を二次遅れ要素 $[\omega^2 / (s^2 + 2\zeta\omega s + \omega^2)]$ で模擬すると共に、スロットルバルブ15の駆動速度の限界特性を速度リミッタで模擬し、遅延前の開度指令値φ<sub>total</sub>から予測スロットル開度θ<sub>f</sub>を演算する。二次遅れ要素の2つの積分要素（1/s）は矩形積分である。尚、演算処理を簡略化するために、二次遅れ要素に代えて、一次遅れ要素を用いても良い。

【0042】また、電子スロットルモデルの変化量演算部は、微分要素（d/dt）と積分要素（∫）とから成り、微分要素（d/dt）で、電子スロットル動特性モデル部の出力（予測スロットル開度）のサンプリング時間T<sub>s</sub>間の差分を求め、この差分を積分要素（∫）で積分することで、スロットル開度の予測変化量Δθを演算する。この際、積分要素（∫）で差分を積分する時間は、燃料噴射量TAUの演算タイミング（筒内充填空気量の予測タイミング）から吸気バルブ閉タイミングまでの時間T<sub>inj</sub>と、電子スロットルシステムの無駄時間T<sub>th</sub>の大きい方である。これにより、変化量演算部から出力されるスロットル開度の予測変化量Δθは、吸気バルブ閉タイミング（又は無駄時間T<sub>th</sub>経過後）までのスロットル開度の予測変化量となる。

【0043】電子スロットルモデルは、変化量演算部から出力されるスロットル開度の予測変化量Δθを現在のスロットル開度θ（スロットル開度センサ18の出力）に加算して、吸気バルブ閉タイミング（又は無駄時間T<sub>th</sub>経過後）の予測スロットル開度θ<sub>f</sub>を求め、この予測スロットル開度θ<sub>f</sub>を吸気系モデルに出力する。

【0044】この吸気系モデルは、図5に示すように、予測スロットル通過空気量演算部と予測吸気圧演算部と予測筒内充填空気量演算部とから成り、予測スロットル通過空気量演算部は、吸入空気が通過するスロットル開口をオリフィスと見なして予測スロットル開度等から予測スロットル通過空気量G<sub>in</sub>を演算する。また、予測吸気圧演算部は、予測スロットル通過空気量G<sub>in</sub>から予測吸気圧P<sub>m</sub>を演算し、予測筒内充填空気量演算部は、予測吸気圧P<sub>m</sub>から予測筒内充填空気量G<sub>c</sub>を演算する。予測スロットル通過空気量演算部は、次のオリフィスの式で表される。

【0045】

【数3】



$$G_{in} = \mu \cdot A \cdot \frac{P_a}{\sqrt{R \cdot T}} \cdot f(P_m/P_a) \quad \text{--- (1)}$$

$G_{in}$  : スロットル通過空気量[kg/sec]

$\mu$  : 流量係数

$A$  : スロットル開口有効断面積[m<sup>2</sup>]

$P_a$  : 大気圧[Pa]

$P_m$  : 吸気圧[Pa]

$R$  : 気体定数

$T$  : 吸気温度[K]

$$A = \pi r^2 (1 - \cos^2 \theta) \quad \text{---- (2)}$$

$r$  : スロットルバルブの半径[m]

$\theta$  : スロットル開度

$$P_m \leq \left( \frac{2}{\kappa + 1} \right)^{\frac{\kappa}{\kappa - 1}} \cdot P_a \text{ の時}$$

$$f(P_m/P_a) = \sqrt{\frac{2\kappa}{\kappa + 1} \left( \frac{2}{\kappa + 1} \right)^{\frac{\kappa}{\kappa - 1}}} \quad \text{---- (3)}$$

$$P_m > \left( \frac{2}{\kappa + 1} \right)^{\frac{\kappa}{\kappa - 1}} \cdot P_a \text{ の時}$$

$$f(P_m/P_a) = \sqrt{\frac{2\kappa}{\kappa - 1} \left\{ \left( \frac{P_m}{P_a} \right)^{\frac{2}{\kappa}} - \left( \frac{P_m}{P_a} \right)^{\frac{\kappa + 1}{\kappa}} \right\}} \quad \text{---- (4)}$$

$\kappa$  : 比熱比

【0046】ここで、 $f(P_m/P_a)$  は、上式により演算しても良いが、演算処理を簡略化するために、 $P_m/P_a$  をパラメータとするテーブルから算出すると良い。 $f(P_m/P_a)$  のテーブルは、最大値を1として正規化すると、図6に示すような曲線で表される。この $f(P_m/P_a)$  は、上記(3)式、(4)式から明らかのように、物理的には負の値にならないため、図6の例では、 $P_m/P_a > 1$  のときに、 $f(P_m/P_a) = 0$  に設定している。

【0047】しかし、 $P_m/P_a > 1$  のときに $f(P_m/P_a) = 0$  にすると、 $P_m/P_a$  が1付近で変動する高負荷運転時に、図8に示すように、吸気系モデルの演算値(スロットル通過空気量 $G_{in}$ 、予測吸気圧 $P_m$ 、予測筒内充填空気量 $G_{cf}$ )が振動してハンチングが発生する傾向がある。この原因は、 $P_m/P_a$  が1付近の領域で $f(P_m/P_a)$  の変化率が大きくなることと、高負荷運転時に $P_m/P_a$  が演算上1以上になる毎に $f(P_m/P_a)$  が0でガードされるため、高負荷運転時の $f(P_m/P_a)$  の変化が不規則になるためである。

【0048】この対策として、本実施形態(1)では、 $f(P_m/P_a)$  のテーブルを図7に示すように設定している。

つまり、 $P_m/P_a < 1$  のときに $f(P_m/P_a) =$  正の値

$P_m/P_a = 1$  のときに $f(P_m/P_a) = 0$

$P_m/P_a > 1$  のときに $f(P_m/P_a) =$  負の値

に設定している。これにより、 $f(P_m/P_a)$  のテーブルは、 $P_m/P_a = 1$  を境にして±が反転する対称な変化特性となっている。

【0049】図7のような変化特性の $f(P_m/P_a)$  のテーブルを用いると、 $P_m/P_a$  が1付近で変動する高負荷運転時に、 $f(P_m/P_a)$  の変化が規則的なものとなる。このため、吸気系モデルの演算値(スロットル通過空気量 $G_{in}$ 又は予測吸気圧 $P_m$ 又は予測筒内充填空気量 $G_{cf}$ )を平均化することで、図9に示すように、高負荷運転時の吸気系モデルの出力(予測筒内充填空気量 $G_{cf}$ )を安定化させることができ、ハンチングを防止することができる。

【0050】予測スロットル通過空気量演算部に入力する吸気圧 $P_m$  は、予測吸気圧演算部で演算した前回の予測吸気圧 $P_m(i-1)$  が用いられるが、吸気圧センサ16の出力を用いるようにしても良い。

【0051】また、予測スロットル通過空気量 $G_{in}$ の演算に用いるスロットル開口有効断面積 $A$ は、スロットル

開度 $\theta$ を前記(2)式に代入して算出しても良いが、本実施形態(1)では、演算処理を簡略化するために、流量係数 $\mu$ とスロットル開口有効断面積 $A$ との乗算値 $\mu \cdot A$ を、予測スロットル開度をパラメータとするテーブルから算出する。

【0052】次に、予測吸気圧 $P_m$ と予測筒内充填空気量 $G_{cf}$ の演算方法を説明する。スロットルバルブ15からエンジン11の吸気口までの吸気通路(以下「スロットル下流吸気通路」という)を流れる吸入空気の流れに質量保存の法則を適用すると、次の(5)式で表される

$$G_{cf} = \eta \cdot (N_e / 2) \cdot V_c \cdot (Q_m / V_{IM}) \quad \cdots \cdots (5)$$

$\eta$ : 体積効率

$N_e$ : エンジン回転速度

$V_c$ : シリンダ容積

$V_{IM}$ : スロットル下流吸気通路の内容積

【0054】ここで、体積効率 $\eta$ は、吸入空気流量によって変化するため、吸入空気流量と相関関係のあるパラメータであるエンジン回転速度 $N_e$ と吸気圧 $P_m$ とに基づいてマップ等により設定される。ここで用いる $P_m$ は予測吸気圧の前の値 $P_m(i-1)$ である。

$$\eta = f(N_e, P_m)$$

$$\{Q_m(i) - Q_m(i-1)\} / T_s = G_{in}(i) - Q_m(i-1) / \tau_{IM} \quad \cdots \cdots (6)$$

ここで、 $T_s$ はサンプリング時間である。

【0057】この(9)式を整理すると、スロットル下

$$Q_m(i) = \{G_{in}(i) - Q_m(i-1) / \tau_{IM}\} \cdot T_s + Q_m(i-1) \quad [kg] \quad \cdots \cdots (10)$$

【0058】また、スロットル下流吸気通路に気体の状態方程式を適用すると、スロットル下流吸気通路内の空

$$P_m = Q_m \cdot R \cdot T / V_{IM} \quad [Pa] \quad \cdots \cdots (11)$$

$R$ : 気体定数

$T$ : 吸気温度

吸気系モデルの予測吸気圧演算部は、上記(10)式と(11)式を用いて、予測吸気圧 $P_m$ を演算する。

$$G_{cf} = \eta \cdot V_c \cdot P_m / (2 \cdot R \cdot T) \quad [kg/rev] \quad \cdots \cdots (12)$$

吸気系モデルの予測筒内充填空気量演算部は、上記(12)式を用いて、仮の予測筒内充填空気量 $G_{cf}$ を演算する。

【0060】図2に示すように、吸気系モデルの出力(仮の予測筒内充填空気量 $G_{cf}$ )は、微分要素( $d/dt$ )に入力され、サンプリング時間 $t_s$ 間の差分が求められ、その差分が積分要素( $\int$ )で積分される。その積分時間は、燃料噴射量 $TAU$ の演算タイミング(筒内充填空気量の予測タイミング)から吸気バルブ閉タイミングまでの時間 $T_{inj}$ である。積分要素( $\int$ )で積分した値は、吸気バルブ閉タイミングまでの筒内充填空気量の予測変化量 $\Delta G_c$ に相当した値となり、この予測変化量 $\Delta G_c$ をベース吸気系モデルにより演算したベース筒内充填空気量 $G_{base}$ に加算して、最終的な予測筒内充填空気量 $G_c$ (吸気バルブ閉タイミングで確定する筒内充填空気量)を求める。

関係が得られる。

$$d/dt \cdot Q_m = G_{in} - G_{cf} \quad \cdots \cdots (5)$$

ここで、 $Q_m$ はスロットル下流吸気通路内の空気量、 $d/dt \cdot Q_m$ はスロットル下流吸気通路内の空気量の変化量、 $G_{in}$ は予測スロットル通過空気量、 $G_{cf}$ は予測筒内充填空気量である。

【0053】また、スロットル下流吸気通路に気体の状態方程式を適用すると、次の(6)式に表す関係が得られる。

【0055】また、吸気系モデルのモデル時定数 $\tau_{IM}$ は次の(7)式で表される。

$$\tau_{IM} = 2 \cdot V_{IM} / (V_c \cdot \eta \cdot N_e) \quad \cdots \cdots (7)$$

上記(5)～(7)式から次の(8)式が導き出される。

$$d/dt \cdot Q_m = G_{in} - Q_m / \tau_{IM} \quad \cdots \cdots (8)$$

【0056】上記(8)式は連続式であるため、これを電子制御ユニット25で演算処理できるようにするために、次のように離散化する。

流吸気通路内の空気量 $Q_m$ の演算式が次のように導き出される。

気量 $Q_m$ から予測吸気圧 $P_m$ を演算する式が次のように導き出される。

【0059】上記(11)式と(6)式とから、次の(12)式で表される予測筒内充填空気量 $G_{cf}$ の演算式が導き出される。

【0061】次に、ベース筒内充填空気量の演算方法を説明する。このベース筒内充填空気量は、エアフロメータ14の出力(吸入空気流量)に基づいて演算した現在の筒内充填空気量である。従って、このベース筒内充填空気量には、現在から吸気バルブ閉タイミング(筒内充填空気量の確定タイミング)までのスロットル開度の変化による筒内充填空気量の変化量が含まれない。一般に、エアフロメータ14の出力から筒内充填空気量を演算する方法は、定常時に吸入空気流量=筒内充填空気量となるため、定常時の筒内充填空気量の演算精度が良いという利点があるが、過渡時には、エアフロメータ14の応答遅れ(例えば熱式のエアフロメータ14の場合は、エアフロメータ14のセンサ部自身のヒートマスによる応答遅れ)が存在するため、過渡時の応答性が悪いという欠点がある。

【0062】そこで、本実施形態(1)では、過渡時の

応答性を向上させるために、エアフロメータ14の出力の応答遅れを応答遅れ補償要素（位相進み補償要素）により補償し、この応答遅れ補償要素の出力をベース吸気系モデルに入力して該ベース吸気系モデルの出力であるベース筒内充填空気量 $G_{base}$ を演算する。このベース吸気系モデルの伝達関数は次の一次遅れ式で表される。

$$G_{base} = 1 / (1 + \tau_{IM} \cdot s) \cdot G_{dlay}$$

$G_{base}$  : ベース筒内充填空気量

$G_{dlay}$  : 応答遅れ補償要素の出力

$\tau_{IM}$  : 時定数

【0063】このベース吸気系モデルの時定数 $\tau_{IM}$ は、次式で表される。

$$\tau_{IM} = 2 \cdot V_{IM} / (V_c \cdot \eta \cdot N_e)$$

$V_{IM}$  : スロットル下流側の吸気通路の内容積

$V_c$  : シリンダ容積

$\eta$  : 体積効率

$N_e$  : エンジン回転速度

ここで、体積効率 $\eta$ は、吸入空気流量によって変化するため、吸入空気流量と相関関係のあるパラメータであるエンジン回転速度 $N_e$ と吸気圧 $P$ （吸気圧センサ16の出力）とに基づいてマップ等により設定される。

【0064】このようなベース吸気系モデルにより演算したベース筒内充填空気量 $G_{base}$ と、予測スロットル開度等から演算した筒内充填空気量の予測変化量 $\Delta G_c$ とを積算して、最終的な予測筒内充填空気量 $G_c$ （吸気バルブ閉タイミングで確定する筒内充填空気量）を求め、この予測筒内充填空気量 $G_c$ とエンジン回転速度等に応じて燃料噴射量を設定する。

【0065】以上説明した図2の各ブロックの機能は、図10乃至図18の各ルーチンによって実現される。以下、各ルーチンの処理内容を詳細に説明する。

【0066】[メインルーチン] 図10のメインルーチンは、イグニッションスイッチのオン後に所定周期で実行される。本ルーチンが起動されると、まずステップ100で、後述する図11のスロットル遅延制御ルーチンを実行し、スロットル遅延制御の実行条件が成立していれば、アクセル操作量等に応じて設定した開度指令値 $\phi_{total}$ を所定時間 $T_{dly}$ 遅延させるスロットル遅延制御を実行する。この後、ステップ200に進み、後述する図12の予測筒内充填空気量演算ルーチンを実行し、予測筒内充填空気量 $G_c$ （吸気バルブ閉タイミングで確定する筒内充填空気量）を演算する。

【0067】この後、ステップ300に進み、基本噴射量演算ルーチン（図示せず）を実行し、予測筒内充填空気量 $G_c$ とエンジン回転速度 $N_e$ に応じてマップ等により基本噴射量 $T_p$ を演算する。この後、ステップ400に進み、後述する図18の噴射量補正ルーチンを実行し、負荷変動に対する燃料補正係数 $K_{load}$ （加減速補正係数）、空燃比フィードバック補正係数、水温補正係数等の各種の補正係数 $K_c$ を基本噴射量 $T_p$ に乗算して最

終的な燃料噴射量を求める。

【0068】[スロットル遅延制御ルーチン] 図11のスロットル遅延制御ルーチンは、図10のメインルーチンのステップ100で実行されるサブルーチンである。本ルーチンが起動されると、まず、ステップ101で、アクセル操作量（アクセルセンサ27の出力）等に応じて、開度指令値 $\phi_{total}$ を設定する。この際、開度指令値 $\phi_{total}$ は、アクセル操作量に応じた要求開度 $\phi_{pedal}$ と、アイドル回転速度制御（ISC）による要求開度 $\phi_{isc}$ 等の様々な要求開度を積算して求める。

$$\phi_{total} = \phi_{pedal} + \phi_{isc}$$

【0069】このステップ101の処理が特許請求の範囲という開度指令値演算手段としての役割を果たす。

【0070】この後、ステップ102に進み、スロットル遅延制御禁止条件が成立しているか否かを判定する。ここで、スロットル遅延制御禁止条件としては、例えば、①始動時又は始動直後の所定時間内であること、②アイドル運転時又はアクセル操作量が小さいこと、③自動変速機がニュートラル状態であること等であり、これらの条件のうちのいずれか1つでも該当する条件があれば、スロットル遅延制御禁止条件が成立し、それ以外の場合は、スロットル遅延制御禁止条件が不成立となる。

【0071】始動時や始動直後は、本来的にエンジン回転が不安定であるため、スロットル遅延制御を行うと、エンジン回転変動が更に大きくなるおそれがある。また、アイドル運転時は、アイドル回転速度制御（ISC）が作動してアイドル回転速度をフィードバック制御するため、スロットル遅延制御を行うと、アイドル回転速度制御がスロットル遅延制御と干渉してアイドル回転が不安定になるおそれがある。また、自動変速機がニュートラル状態のときは、運転者がレーシング（エンジンの空吹き）を行う可能性があるため、ニュートラル状態のときに、スロットル遅延制御を行うと、レーシング実行時にエンジン回転速度の立上がりが遅れて、運転者にアクセル応答性・加速性が悪いと感じさせてしまうおそれがある。

【0072】そこで、本実施形態（1）では、スロットル遅延制御による悪影響が現れる運転状態の時（始動時、始動直後、アイドル運転時、ニュートラル時）にスロットル遅延制御を禁止することで、スロットル遅延制御による悪影響を無くすものである。

【0073】もし、ステップ102で、スロットル遅延制御禁止条件が成立していると判定されれば、スロットル遅延制御が禁止され、ステップ103に進み、現在（最新）の開度指令値 $\phi_{total}(i)$ を遅延させずにモータ駆動回路32に出力する。

【0074】一方、ステップ102で、スロットル遅延制御禁止条件が不成立と判定されれば、ステップ104以降の処理によって、次のようにしてスロットル遅延制御を実施する。まず、ステップ104で、開度指令値 $\phi$

total の遅延時間 Tdly を決定する。この際、遅延時間 Tdly は、図3に示すように、燃料噴射量 TAU の演算タイミング（筒内充填空気量の予測タイミング）から吸気バルブ閉タイミングまでの時間 Tinj から電子スロットルシステムの無駄時間 Tth を差し引いた時間（ $Tdly = Tinj - Tth$ ）に設定される。但し、燃料噴射量 TAU の演算タイミングから吸気バルブ閉タイミングまでの時間 Tinj が無駄時間 Tth よりも短くなる場合（ $Tinj - Tth < 0$  の場合）は、遅延時間 Tdly を 0 とする。

【0075】この後、ステップ105に進み、遅延時間 Tdly 内のサンプリング数 Cdly を次式により演算する。

$$Cdly = Tdly / Ts$$

ここで、Ts はサンプリング時間である。

【0076】この後、ステップ106に進み、現在よりも遅延時間 Tdly 内のサンプリング数 Cdly 前に演算した開度指令値  $\phi_{total}(i - Cdly)$  をモータ駆動回路32に出力する。これにより、開度指令値  $\phi_{total}$  の出力タイミングを遅延時間 Tdly だけ遅延させる。これらステップ102～106の処理が特許請求の範囲でいうディレイ手段としての役割を果たす。

【0077】[予測筒内充填空気量演算ルーチン] 図12の予測筒内充填空気量演算ルーチンは、図11のメインルーチンのステップ200で実行されるサブルーチンであり、特許請求の範囲でいう予測筒内充填空気量演算手段としての役割を果たす。

【0078】本ルーチンが起動されると、まずステップ201で、後述する図13の予測吸気圧演算ルーチンを実行し、予測吸気圧 Pm（吸気バルブ閉タイミングの吸気圧）を演算する。この後、ステップ202に進み、予測吸気圧 Pm を用いて、次式により予測筒内充填空気量 Gcf(i) を演算する。

$$Gcf(i) = \eta \cdot Vc \cdot Pm / (2 \cdot R \cdot T) \quad [kg / rev]$$

$\eta$  : 体積効率

Vc : シリンダ容積

R : 気体定数

T : 吸気温度

【0079】この後、ステップ203に進み、図11のステップ102と同じ方法で、スロットル遅延制御禁止条件が成立しているか否かを判定する。スロットル遅延制御禁止条件が成立する場合は、スロットル遅延制御を実施せずにステップ203からステップ204に進み、燃料噴射量の演算タイミングから吸気バルブ閉タイミングまでの筒内充填空気量の予測変化量  $\Delta Gc$  を 0 に設定する。

【0080】一方、スロットル遅延制御禁止条件が不成立の場合は、図11のスロットル遅延制御ルーチンによってスロットル遅延制御を実施して、ステップ203からステップ205に進み、予測時間 Tinj 内のサンプリング数 Cp を次式により演算する。

ここで、Ts はサンプリング時間である。

$$Cp = Tinj / Ts$$

ここで、予測時間 Tinj は、燃料噴射量の演算タイミングから吸気バルブ閉タイミングまでの時間であり、Ts はサンプリング時間である。

【0081】この後、ステップ206に進み、燃料噴射量の演算タイミングから吸気バルブ閉タイミングまでの筒内充填空気量 Gcf の予測変化量  $\Delta Gc$  を次式により演算する。

$$\Delta Gc = Gcf(i) - Gcf(i - Cp)$$

ここで、Gcf(i) は、今回の予測筒内充填空気量（つまり吸気バルブ閉タイミングの演算タイミングの予測筒内充填空気量）であり、Gcf(i - Cp) は、現在よりも予測時間 Tinj 内のサンプリング数 Cp 前に演算した筒内充填空気量（つまり燃料噴射量の演算タイミングの筒内充填空気量）である。

【0082】予測変化量  $\Delta Gc$  の演算後、ステップ207に進み、ベース筒内充填空気量演算ルーチン（図示せず）を実行し、ベース筒内充填空気量 Gbase を演算する。この際、エアフロメータ14の出力の応答遅れを応答遅れ補償要素（位相進み補償要素）により補償し、この応答遅れ補償要素の出力 Gdlay を用いて、次の伝達関数によりベース筒内充填空気量 Gbase を演算する。

$$Gbase = 1 / (1 + \tau_{IM} \cdot s) \cdot Gdlay$$

ここで、 $\tau_{IM}$  は時定数である。上式は、説明を簡略化するために、ベース筒内充填空気量の演算式を連続系で表しているが、電子制御ユニット25は、上式を離散化した式を用いてベース筒内充填空気量 Gbase を演算する。

【0083】その後、ステップ208に進み、このベース筒内充填空気量 Gbase に、上記ステップ206で求めた予測変化量  $\Delta Gc$  を加算して最終的な予測筒内充填空気量 Gc を求める。

$$Gc = Gbase + \Delta Gc$$

【0084】[予測吸気圧演算ルーチン] 図13の予測吸気圧演算ルーチンは、図12の予測筒内充填空気量演算ルーチンのステップ201で実行されるサブルーチンである。本ルーチンが起動されると、まずステップ211で、後述する図14の予測スロットル通過空気量演算ルーチンを実行し、予測スロットル通過空気量 Gin を演算する。この後、ステップ212に進み、後述する図16の吸気系モデル時定数演算ルーチンを実行し、吸気系モデルのモデル時定数  $\tau_{IM}$  を演算する。この後、ステップ213に進み、スロットル下流吸気通路内の空気量 Qm を次式により演算する。

$$Qm(i) = \{Gin(i) - Qm(i-1) / \tau_{IM}\} \cdot Ts + Qm(i-1)$$

ここで、Qm(i) は今回のスロットル下流吸気通路内の空気量、Qm(i-1) は前回のスロットル下流吸気通路内の空気量、Ts はサンプリング時間である。

【0085】この後、ステップ214に進み、スロット

ル下流吸気通路内の空気量  $Q_m$  から予測吸気圧  $P_m$  を次式により演算する。

$$P_m = Q_m \cdot R \cdot T / V_{IM}$$

ここで、 $R$ は気体定数、 $T$ は吸気温度、 $V_{IM}$ はスロットル下流吸気通路の内容積である。

【0086】この後、ステップ215に進み、今回の予測吸気圧  $P_m(i)$  と前回の予測吸気圧  $P_m(i-1)$  との平均値を算出することで、予測吸気圧  $P_m$  を平均化する。

$$P_m(i) = \{P_m(i) + P_m(i-1)\} / 2$$

【0087】[予測スロットル通過空気量演算ルーチン] 図14の予測スロットル通過空気量演算ルーチン

$$G_{in} = \mu \cdot A \cdot \frac{P_a}{\sqrt{R \cdot T}} \cdot f(P_m/P_a)$$

$G_{in}$  : スロットル通過空気量[kg/sec]

$\mu$  : 流量係数

$A$  : スロットル開口有効断面積[m<sup>2</sup>]

$P_a$  : 大気圧[Pa]

$P_m$  : 吸気圧[Pa]

$R$  : 気体定数

$T$  : 吸気温度[K]

$f(P_m/P_a)$  : 吸気圧  $P_m$  と大気圧  $P_a$  の比で決まる物理値

【0090】この際、 $\mu \cdot A$  は、予測スロットル開度  $\theta$   $f$  をパラメータとするテーブルから算出し、 $f(P_m/P_a)$  は、 $P_m/P_a$  をパラメータとする図7のテーブルから算出する。吸気圧  $P_m$  は、前回の予測吸気圧  $P_m(i-1)$  が用いられ、大気圧  $P_a$  と吸気温度  $T$  は、それぞれセンサの検出値が用いられる。尚、大気圧  $P_a$  は標準大気圧(固定値)を用いても良い。

【0091】[予測スロットル開度演算ルーチン] 図15の予測スロットル開度演算ルーチンは、図14の予測スロットル通過空気量演算ルーチンのステップ221で実行されるサブルーチンであり、特許請求の範囲という予測スロットル開度演算としての役割を果たす。

【0092】本ルーチンが起動されると、まずステップ231で、アクセル操作量等に応じて開度指令値  $\phi_{total}$  を設定する。この際、開度指令値  $\phi_{total}$  は、アクセル操作量に応じた要求開度  $\phi_{pedal}$  と、アイドル回転速度制御(ISC)による要求開度  $\phi_{isc}$  等の様々な要求開度を積算して求める。

$$\phi_{total} = \phi_{pedal} + \phi_{isc}$$

【0093】この後、ステップ232に進み、スロットル開度センサ18で検出した現在のスロットル開度  $\theta$  を読み込んだ後、ステップ233に進み、図4に示す電子スロットルモデルの電子スロットル動特性モデル部と変化量演算部とによって遅延前の開度指令値  $\phi_{total}$  を用

は、図13の予測吸気圧演算ルーチンのステップ211で実行されるサブルーチンである。本ルーチンが起動されると、まずステップ221で、後述する図15の予測スロットル開度演算ルーチンを実行し、吸気バルブ閉タイミングの予測スロットル開度  $\theta_f$  を演算する。この後、ステップ222に進み、大気圧  $P_a$ 、吸気温度  $T$  及び前回の予測吸気圧  $P_m(i-1)$  を読み込む。

【0088】この後、ステップ223に進み、予測スロットル通過空気量  $G_{in}$  を次式により演算する。

【0089】

【数4】

いてスロットル開度の予測変化量  $\Delta\theta$  を演算する。この予測変化量  $\Delta\theta$  は、燃料噴射量  $TAU$  の演算タイミング(筒内充填空気量の予測タイミング)から吸気バルブ閉タイミングまでの時間  $T_{inj}$  のスロットル開度の予測変化量である。但し、吸気バルブ閉タイミングまでの時間  $T_{inj}$  が電子スロットルシステムの無駄時間  $T_{th}$  よりも短い場合は、この無駄時間  $T_{th}$  内のスロットル開度の予測変化量  $\Delta\theta$  が求められる。

【0094】この後、ステップ234に進み、現在のスロットル開度  $\theta$  に予測変化量  $\Delta\theta$  を加算して予測スロットル開度  $\theta_f$  を求める。

$$\theta_f = \theta + \Delta\theta$$

この予測スロットル開度  $\theta_f$  は、吸気バルブ閉タイミング(又は無駄時間  $T_{th}$  経過後)の予測スロットル開度である。

【0095】[吸気系モデル時定数演算ルーチン] 図16の吸気系モデル時定数演算ルーチンは、図13の予測吸気圧演算ルーチンのステップ212で実行されるサブルーチンである。本ルーチンが起動されると、まずステップ241で、後述する図17の体積効率演算ルーチンを実行して、体積効率  $\eta$  を演算する。この後、ステップ242に進み、モデル時定数  $\tau_{IM}$  を次式により演算する。

$$\tau_{IM} = 2 \cdot V_{IM} / (V_c \cdot \eta \cdot N_e / 60)$$

ここで、 $V_{IM}$ はスロットル下流吸気通路の内容積（固定値）、 $V_c$ はシリンダ容積（固定値）、 $N_e$ はエンジン回転速度（rpm）である。

【0096】〔体積効率演算ルーチン〕図17の体積効率演算ルーチンは、図16の吸気系モデル時定数演算ルーチンのステップ241で実行されるサブルーチンである。本ルーチンが起動されると、まずステップ151で、前回の吸気圧 $P_m(i-1)$ 、大気圧 $P_a$ 、吸気温度 $T$ 、エンジン回転速度 $N_e$ 、バルブタイミング $VVT$ 、冷却水温 $THW$ を読み込む。この後、ステップ152に進み、 $P_m/P_a$ 、エンジン回転速度 $N_e$ 、バルブタイミング $VVT$ をパラメータとする体積効率マップを検索して、現在のエンジン運転状態に応じた基本体積効率 $\eta_r$ を演算し、この基本体積効率 $\eta_r$ を冷却水温 $THW$ に応じた補正值で補正して体積効率 $\eta$ を求める。

【0097】〔噴射量補正ルーチン〕図18の噴射量補正ルーチンは、図10のメインルーチンのステップ400で実行されるサブルーチンであり、基本噴射量演算ルーチン（図示せず）と共に特許請求の範囲という燃料噴射量演算手段としての役割を果たす。

【0098】本ルーチンが起動されると、まずステップ401で、アクセル操作による負荷変動（筒内充填空気量の変動）であるか否かを、例えばアクセル操作量が設定値以上であるか否か、又は、アクセル操作量の変化量が設定値以上であるか否かによって判定する。もし、アクセル操作による負荷変動と判定されれば、ステップ402に進み、負荷変動（筒内充填空気量の変動）に対する燃料補正係数 $K_{load}$ を小さい値 $K1$ に設定する。この理由は、本実施形態（1）の筒内充填空気量の演算方法では、アクセル操作による負荷変動（筒内充填空気量の変動）を精度良く予測することができるため、燃料噴射量に対する補正を少なくすることができるためである。

【0099】一方、アクセル操作による負荷変動でないと判定された場合（例えば自動変速機をニュートラルレンジからドライブレンジにシフトした時や、パワーステアリング、ブレーキ、エアコン等による負荷変動の場合）には、ステップ403に進み、負荷変動に対する燃料補正係数 $K_{load}$ を大きい値 $K2$ に設定する。この理由は、アクセル操作以外の要因による負荷変動は、アクセル操作量からは予測できないため、アクセル操作以外の要因による負荷変動に対しては、燃料噴射量に対する補正を多くすることが望ましいためである。

【0100】以上のようにして、ステップ402又は403で、負荷変動に対する燃料補正係数 $K_{load}$ を決定した後、ステップ404に進み、負荷変動以外の要因に対する各種の燃料補正係数 $K_c$ （例えば空燃比フィードバック補正係数、水温補正係数、学習補正係数等）を演算し、次のステップ405で、基本噴射量 $T_p$ 、燃料補正係数 $K_{load}$ 、 $K_c$ 及び無効噴射時間 $T_v$ を用いて、最終的な燃料噴射量（噴射パルス幅） $TAU$ を次式により演

算する。

$$TAU = T_p \times K_{load} \times K_c + T_v$$

【0101】以上説明した各ルーチンによって演算した予測スロットル開度と予測筒内充填空気量の挙動の一例を図19のタイムチャートに示している。エンジン運転中は、アクセル操作量等に応じて開度指令値 $\phi_{total}$ を設定し、この開度指令値 $\phi_{total}$ の出力タイミングを遅延時間 $T_{dly}$ だけ遅延させる。この際、遅延時間 $T_{dly}$ は、図3に示すように、燃料噴射量 $TAU$ の演算タイミング（筒内充填空気量の予測タイミング）から吸気バルブ閉タイミングまでの時間 $T_{inj}$ から電子スロットルシステムの無駄時間 $T_{th}$ を差し引いた時間（ $T_{dly} = T_{inj} - T_{th}$ ）に設定される。但し、燃料噴射量 $TAU$ の演算タイミングから吸気バルブ閉タイミングまでの時間 $T_{inj}$ が、電子スロットルシステムの無駄時間 $T_{th}$ よりも短くなる場合（ $T_{inj} - T_{th} < 0$ の場合）は、遅延時間 $T_{dly}$ を0とする。

【0102】遅延前の開度指令値 $\phi_{total}$ に基づいて図4の電子スロットルモデルによりスロットル開度の予測変化量 $\Delta\theta$ を演算し、この予測変化量 $\Delta\theta$ を現在のスロットル開度 $\theta$ （スロットル開度センサ18の出力）に加算して、吸気バルブ閉タイミング（又は無駄時間 $T_{th}$ 経過後）の予測スロットル開度 $\theta_f$ を求める。そして、この予測スロットル開度 $\theta_f$ を用いて図5の吸気系モデルにより仮の予測筒内充填空気量 $G_{cf}$ を演算し、これを微分・積分処理して吸気バルブ閉タイミングまでの筒内充填空気量の予測変化量 $\Delta G_c$ を演算する。この予測変化量 $\Delta G_c$ をベース吸気系モデルにより演算したベース筒内充填空気量 $G_{base}$ に加算して、最終的な予測筒内充填空気量 $G_c$ （吸気バルブ閉タイミングで確定する筒内充填空気量）を求める。これにより、筒内充填空気量 $G_c$ を精度良く予測することが可能となり、過渡時の空燃比制御精度を向上させることができる。

【0103】《実施形態（2）》上記実施形態（1）では、ディレイ手段（図2参照）によりスロットル遅延制御を行うようにしたが、図20に示す本発明の実施形態（2）では、ディレイ手段を省いて、スロットル遅延制御を行わず、電子スロットルシステムの無駄時間 $T_{th}$ を利用してスロットル開度を予測する。

【0104】本実施形態（2）では、開度指令値演算手段によってアクセル操作量等に基づいて設定した開度指令値を遅延させずにモータ駆動回路32に出力する。そして、前記実施形態（1）と同様の方法で、電子スロットルモデルによって、開度指令値と現在のスロットル開度（スロットル開度センサ18の出力）とに基づいて吸気バルブ閉タイミング（又は無駄時間 $T_{th}$ 経過後）のスロットル開度を予測し、吸気系モデル（図5の構成）によって、この予測スロットル開度から仮の予測筒内充填空気量を演算し、これを微分・積分処理して、吸気バルブ閉タイミング（又は無駄時間 $T_{th}$ 経過後）までの筒内



充填空気量の予測変化量を演算する。そして、この予測変化量をベース吸気系モデルにより演算したベース筒内充填空気量に加算して、最終的な予測筒内充填空気量を求める。

【0105】以上説明した本実施形態(2)においても、電子スロットルシステムの無駄時間 $T_{th}$ を利用してスロットル開度を予測して、その予測スロットル開度から筒内充填空気量を精度良く予測することが可能となり、過渡時の空燃比制御精度を向上させることができる。

【0106】《実施形態(3)》上記実施形態(1)、(2)は、本発明を電子スロットルシステム付きのエンジンに適用したものであるが、図21に示す実施形態(3)は、スロットル開度をアクセル操作に機械的に連動させる機械式スロットルシステム付きのエンジンに本発明を適用したものである。

【0107】本実施形態(3)では、アクセル操作量と実スロットル開度とが機械的に連動し、スロットルの応答遅れがないため、開度指令値演算手段、ディレイ手段及び電子スロットルモデルが設けられていない。前記実施形態(1)、(2)では、吸気系モデルに予測スロットル開度を入力したが、本実施形態(3)では、現在のスロットル開度(スロットル開度センサ18の出力)を吸気系モデルに入力する。この吸気系モデルの構成は、前記実施形態(1)と実質的に同じであり、現在のスロットル開度から仮の予測筒内充填空気量を演算し、これを微分・積分処理して、吸気バルブ閉タイミング(又は所定期間経過後)までの筒内充填空気量の予測変化量を演算する。そして、この予測変化量をベース吸気系モデルにより演算したベース筒内充填空気量に加算して、最終的な予測筒内充填空気量を求める。

【0108】このようにすれば、機械式スロットルシステムの場合でも、筒内充填空気量の演算精度を従来よりも向上させることができ、過渡時の空燃比制御精度を向上させることができる。

【0109】《実施形態(4)》前記実施形態(1)、(2)では、図2、図20に示すように、電子スロットルモデルによって、開度指令値と現在のスロットル開度(スロットル開度センサ18の出力)とに基づいて吸気バルブ閉タイミング(又は無駄時間 $T_{th}$ 経過後)のスロットル開度を予測し、吸気系モデルによって、この予測スロットル開度から仮の予測筒内充填空気量を演算し、これを微分・積分処理して、吸気バルブ閉タイミング(又は無駄時間 $T_{th}$ 経過後)までの筒内充填空気量の予測変化量を演算した後、この予測変化量をベース吸気系モデルにより演算したベース筒内充填空気量に加算して、最終的な予測筒内充填空気量を求めるようにしている。

【0110】これに対して、図22乃至図25に示す本発明の実施形態(4)では、電子スロットルモデルによ

って、開度指令値と現在のスロットル開度(スロットル開度センサ18の出力)とに基づいて吸気バルブ閉タイミング(又は無駄時間 $T_{th}$ 経過後)のスロットル開度を予測し、吸気系モデルによって、この予測スロットル開度から将来の筒内充填空気量(仮の予測筒内充填空気量)を演算する一方、吸気系モデルによって、現在のスロットル開度(スロットル開度センサ18の出力)に基づいて現在の筒内充填空気量を演算し、将来の筒内充填空気量と現在の筒内充填空気量との偏差(筒内充填空気量の予測変化量に相当)を、ベース吸気系モデルにより演算したベース筒内充填空気量に加算して最終的な予測筒内充填空気量を求め、この最終的な予測筒内充填空気量に基づいて燃料噴射量を演算するようにしている。

【0111】本実施形態(4)でも、図10と同じメインルーチンを実行し、ステップ200で図23の予測筒内充填空気量演算ルーチンを実行する点を除いて、前記実施形態(1)と同じである。

【0112】図23の予測筒内充填空気量演算ルーチンでは、ステップ500で、後述する図24の現在の筒内充填空気量推定ルーチンを実行し、吸気系モデルによって、現在のスロットル開度 $\theta$ (スロットル開度センサ18の出力)に基づいて現在の筒内充填空気量 $G_{est}$ を演算する。

【0113】この後、ステップ600に進み、後述する図25の将来の筒内充填空気量演算ルーチンを実行し、電子スロットルモデルによって、開度指令値と現在のスロットル開度 $\theta$ とに基づいて吸気バルブ閉タイミング(又は無駄時間 $T_{th}$ 経過後)のスロットル開度 $\theta_f$ を予測し、吸気系モデルによって、この予測スロットル開度 $\theta_f$ から将来の筒内充填空気量 $G_{cf}$ (仮の予測筒内充填空気量)を演算する。

【0114】この後、ステップ600に進み、前記実施形態(1)と同様の方法でベース筒内充填空気量 $G_{base}$ を演算した後、ステップ700に進み、将来の筒内充填空気量 $G_{cf}$ と現在の筒内充填空気量 $G_{est}$ との偏差(筒内充填空気量の予測変化量に相当)をベース筒内充填空気量 $G_{base}$ に加算して、最終的な予測筒内充填空気量 $G_c$ を求める。

$$G_c = G_{base} + (G_{cf} - G_{est})$$

【0115】図24の現在の筒内充填空気量推定ルーチンでは、まずステップ501で、現在のスロットル開度 $\theta$ を読み込み、次のステップ502で、大気圧 $P_a$ 、吸気温度 $T$ 及び吸気圧 $P_m$ を読み込む。この際、吸気圧 $P_m$ は、吸気圧センサ16の検出値を用いたり、或は、後述する図25のステップ601で演算する予測吸気圧の前回値を用いても良い。

【0116】この後、ステップ503に進み、前記実施形態(1)で説明した図14のルーチンと同様の方法で、現在のスロットル通過空気量 $G_{in}$ を演算する。この後、ステップ504に進み、前記実施形態(1)で説明

した図16のルーチンと同様の方法で、吸気系モデルのモデル時定数 $\tau_{IM}$ を演算する。

【0117】この後、ステップ505に進み、前記実施形態(1)で説明した図13のステップ213と同様の方法で、スロットル下流吸気通路内の空気量 $Q_m$ を次式により演算する。

$$Q_m(i) = \{G_{in}(i) - Q_m(i-1) / \tau_{IM}\} \cdot T_s + Q_m(i-1)$$

ここで、 $Q_m(i)$ は今回のスロットル下流吸気通路内の空気量、 $Q_m(i-1)$ は前回のスロットル下流吸気通路内の空気量、 $T_s$ はサンプリング時間である。

【0118】この後、ステップ506に進み、スロットル下流吸気通路内の空気量 $Q_m$ から現在の吸気圧 $P_m$ を次式により演算する。

$$P_m = Q_m \cdot R \cdot T / V_{IM}$$

ここで、 $R$ は気体定数、 $T$ は吸気温度、 $V_{IM}$ はスロットル下流吸気通路の内容積である。

【0119】この後、ステップ507に進み、今回の吸気圧 $P_m(i)$ と前回の吸気圧 $P_m(i-1)$ との平均値を算出することで、吸気圧 $P_m$ を平均化する。

$$P_m(i) = \{P_m(i) + P_m(i-1)\} / 2$$

【0120】この後、ステップ508に進み、この吸気圧 $P_m$ を用いて、次式により現在の筒内充填空気量 $G_{est}$ を演算する。

$$G_{est} = \eta \cdot V_c \cdot P_m / (2 \cdot R \cdot T)$$

$\eta$  : 体積効率

$V_c$  : シリンダ容積

$R$  : 気体定数

$T$  : 吸気温度

【0121】一方、図25の将来の筒内充填空気量演算ルーチンでは、まずステップ601で、前記実施形態(1)で説明した図13の予測吸気圧演算ルーチンと同じ処理によって予測吸気圧 $P_m$ (吸気バルブ閉タイミングの吸気圧)を演算する。この後、ステップ602に進み、予測吸気圧 $P_m$ を用いて、次式により将来の筒内充填空気量 $G_{cf}$ (吸気バルブ閉タイミングの筒内充填空気量)を演算する。

$$G_{cf} = \eta \cdot V_c \cdot P_m / (2 \cdot R \cdot T)$$

【0122】以上説明した本実施形態(4)では、現在のスロットル開度に基づいて現在の筒内充填空気量を推定すると共に、将来のスロットル開度を予測して将来の筒内充填空気量を予測し、前記将来の筒内充填空気量と前記現在の筒内充填空気量との偏差から筒内充填空気量の予測変化量を求めるようにしたので、前記実施形態(1)、(2)よりも筒内充填空気量の予測変化量を精度良く求めることができ、筒内充填空気量の予測精度を向上することができる。

【0123】《実施形態(5)》上記実施形態(1)～(4)では、スロットル開度から筒内充填空気量を演算する吸気系モデルを用いたが、本発明の実施形態(5)

では、エアフロメータ14(吸入空気流量検出手段)の出力(吸入空気流量)から筒内充填空気量を演算する吸気系モデルを用い、この吸気系モデルの時定数を、空気量変化が実際よりも早期に現れるように小さい値に設定する。

【0124】本実施形態(5)では、筒内充填空気量を予測する手段を設ける代わりに、吸気系モデルの時定数を小さい値に設定する。このようにすれば、吸気系モデルで演算した筒内充填空気量の変化が実際よりも早期に現れるため、将来の筒内充填空気量を予測するのと同じ効果が得られる。これにより、過渡時の筒内充填空気量の演算精度を従来よりも向上させることができ、過渡時の空燃比制御精度を向上させることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施形態(1)を示すエンジン制御システム全体の概略構成図

【図2】実施形態(1)の電子制御ユニットの機能を示すブロック線図

【図3】スロットル遅延制御と予測筒内充填空気量(予測スロットル開度)の演算タイミングを説明するタイムチャート

【図4】電子スロットルモデルを示すブロック線図

【図5】吸気系モデルを示すブロック線図

【図6】 $f(P_m/P_a)$ のテーブルを概念的に示す図(その1)

【図7】 $f(P_m/P_a)$ のテーブルを概念的に示す図(その2)

【図8】高負荷運転時に図6の $f(P_m/P_a)$ のテーブルを用いて演算した予測筒内充填空気量 $G_{cf}$ の挙動を示すグラフ

【図9】高負荷運転時に図7の $f(P_m/P_a)$ のテーブルを用いて演算した予測筒内充填空気量 $G_{cf}$ の挙動を示すグラフ

【図10】メインルーチンの処理の流れを示すフローチャート

【図11】スロットル遅延制御ルーチンの処理の流れを示すフローチャート

【図12】筒内充填空気量演算ルーチンの処理の流れを示すフローチャート

【図13】予測吸気圧演算ルーチンの処理の流れを示すフローチャート

【図14】予測吸気圧演算ルーチンの処理の流れを示すフローチャート

【図15】予測スロットル通過空気量演算ルーチンの処理の流れを示すフローチャート

【図16】吸気系モデル時定数演算ルーチンの処理の流れを示すフローチャート

【図17】体積効率演算ルーチンの処理の流れを示すフローチャート

【図18】噴射量補正ルーチンの処理の流れを示すフロ

ーチャート

【図19】実施形態(1)のモデルで演算した加速時の予測スロットル開度と予測筒内充填空気量の挙動の一例を示すタイムチャート

【図20】実施形態(2)の電子制御ユニットの機能を示すブロック線図

【図21】実施形態(3)の電子制御ユニットの機能を示すブロック線図

【図22】実施形態(4)の電子制御ユニットの機能を示すブロック線図

【図23】実施形態(4)の予測筒内充填空気量演算ルーチンの処理の流れを示すフローチャート

【図24】実施形態(4)の現在の筒内充填空気量推定

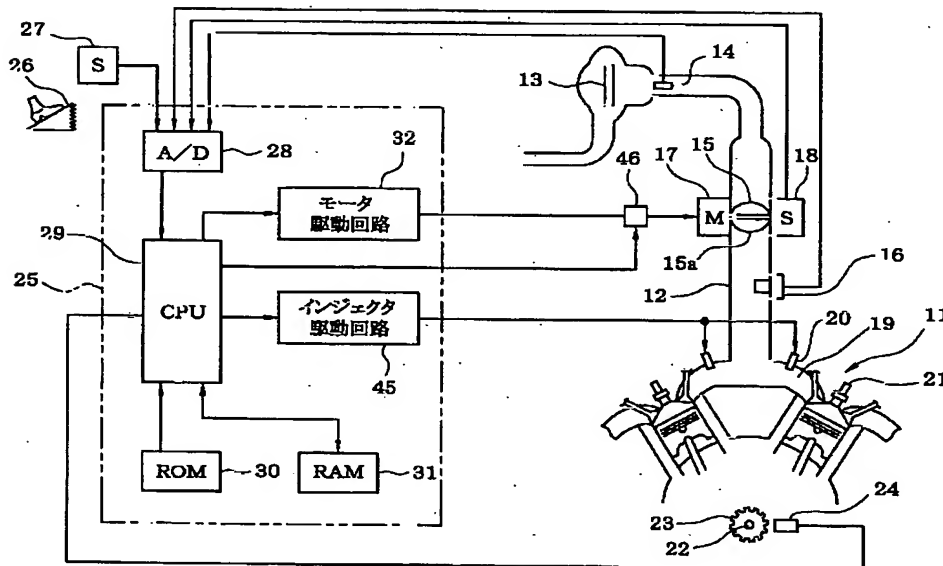
ルーチンの処理の流れを示すフローチャート

【図25】実施形態(4)の将来の筒内充填空気量演算ルーチンの処理の流れを示すフローチャート

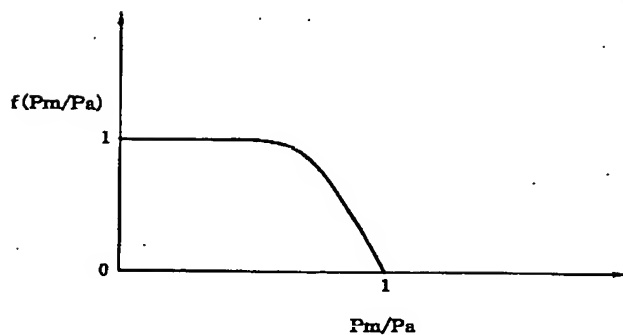
【符号の説明】

11…エンジン(内燃機関)、12…吸気管、14…エアフローメータ(吸入空気流量検出手段)、15…スロットルバルブ、16…吸気圧センサ、17…モータ(スロットルアクチュエータ)、18…スロットル開度センサ、19…吸気マニホールド、20…燃料噴射弁、25…電子制御ユニット(開度指令値演算手段、ディレイ手段、スロットル開度予測手段、筒内充填空気量予測手段、燃料噴射量演算手段)、26…アクセルペダル、27…アクセルセンサ、32…モータ駆動回路。

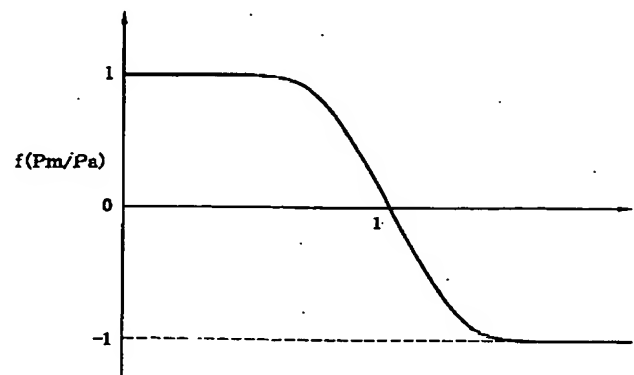
【図1】



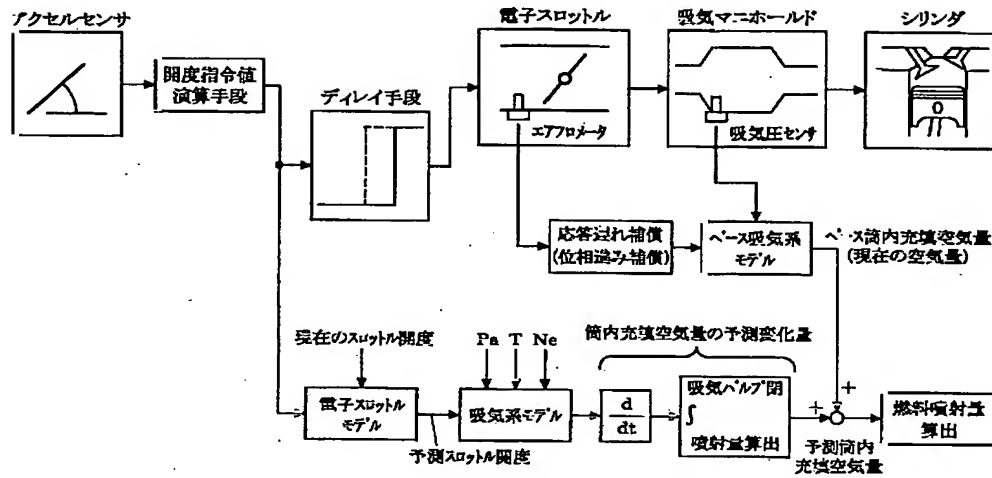
【図6】



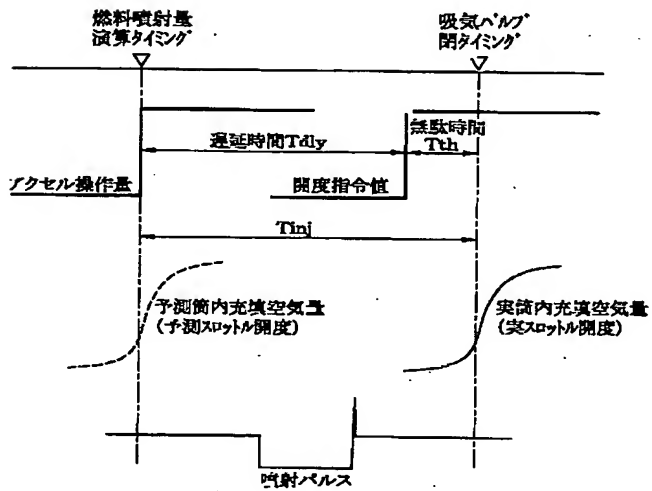
【図7】



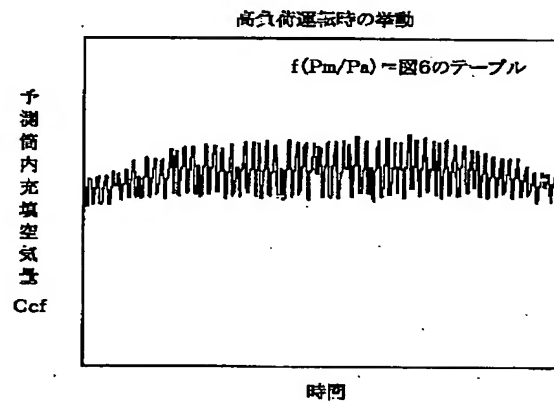
【図2】



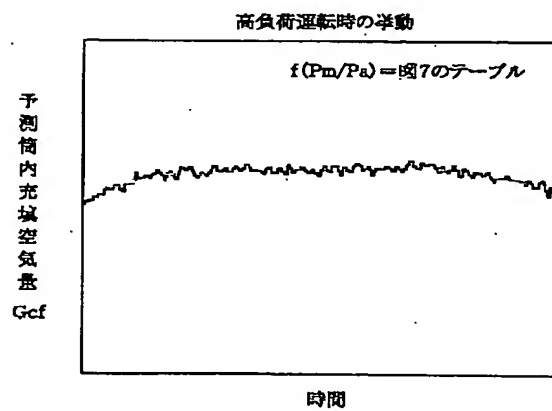
【図3】



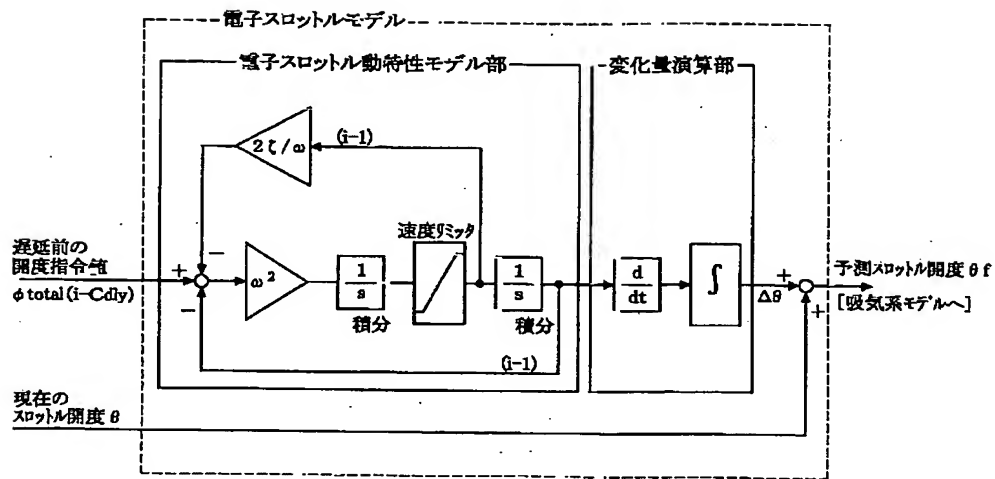
【図8】



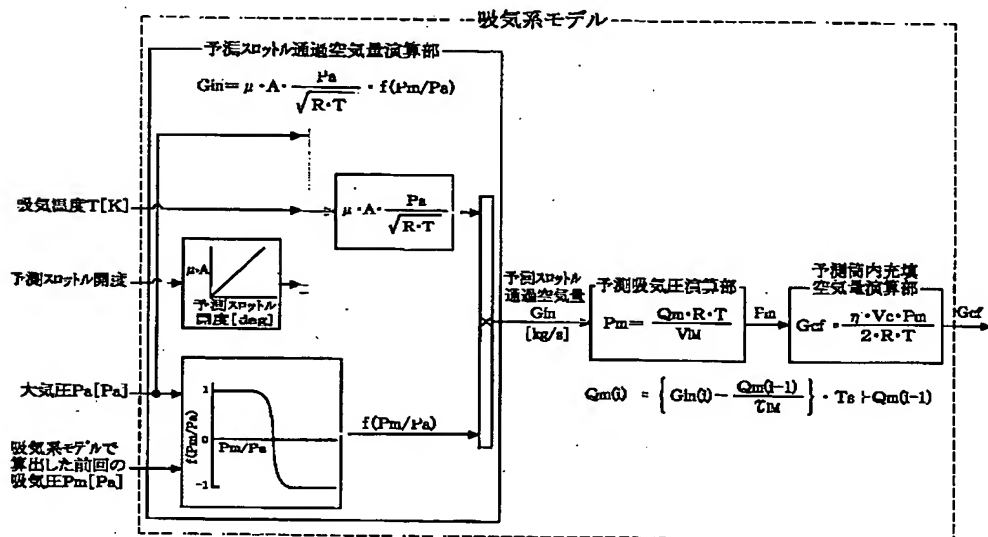
【図9】



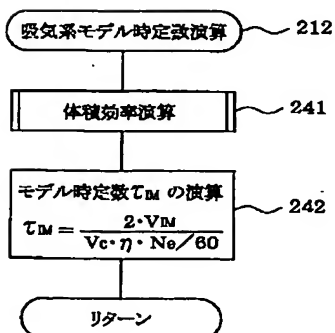
【図4】



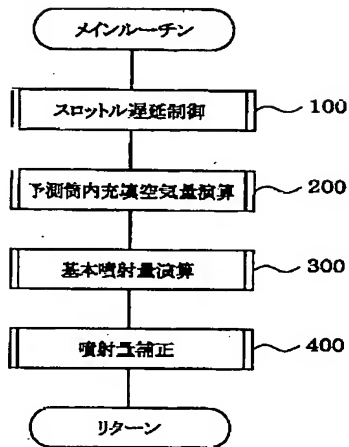
【図5】



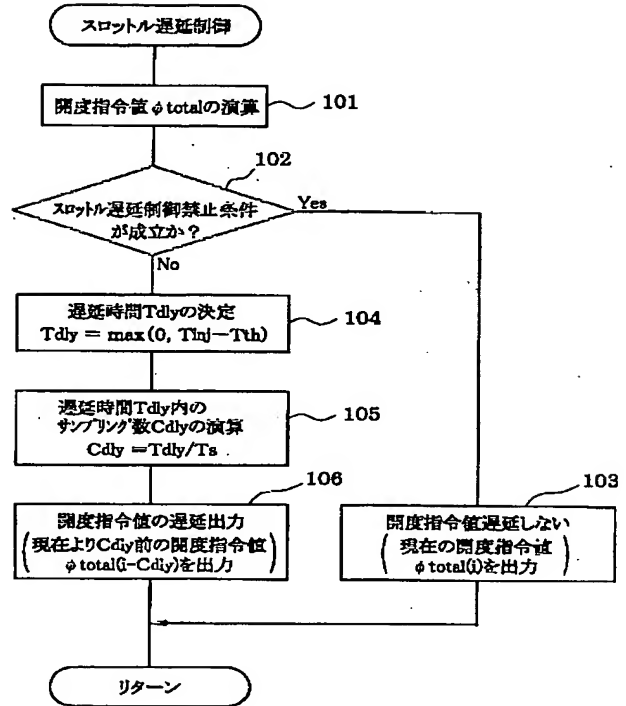
【図16】



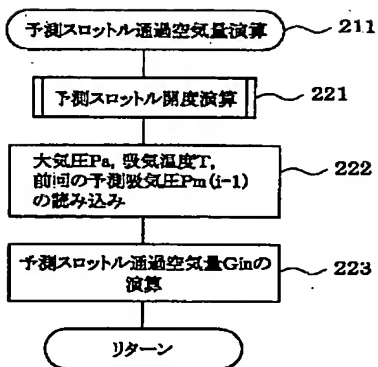
【図10】



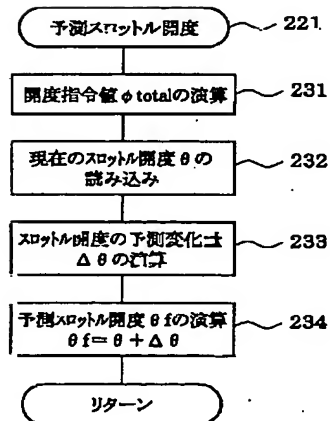
【図11】



【図14】

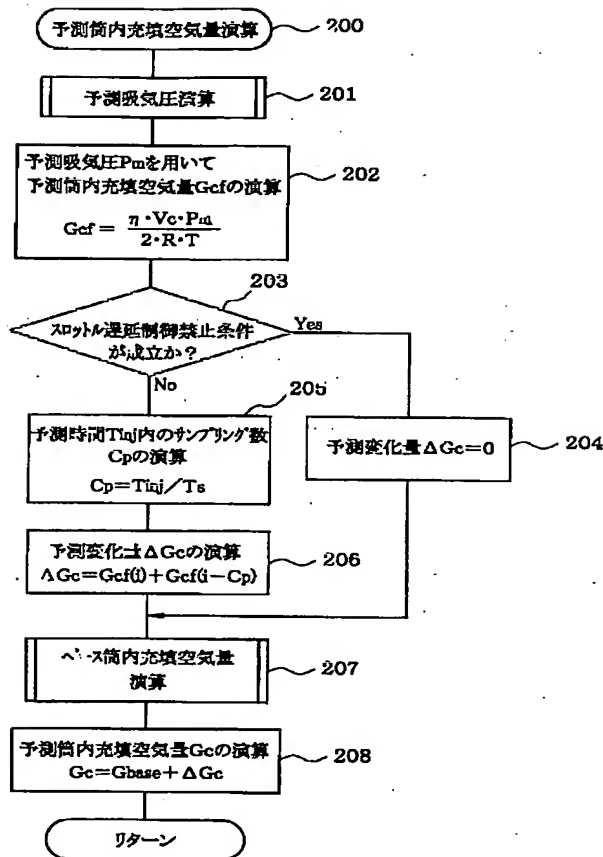


【図15】

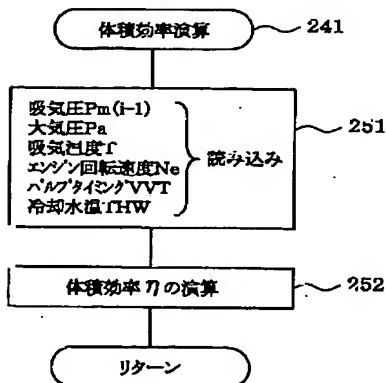




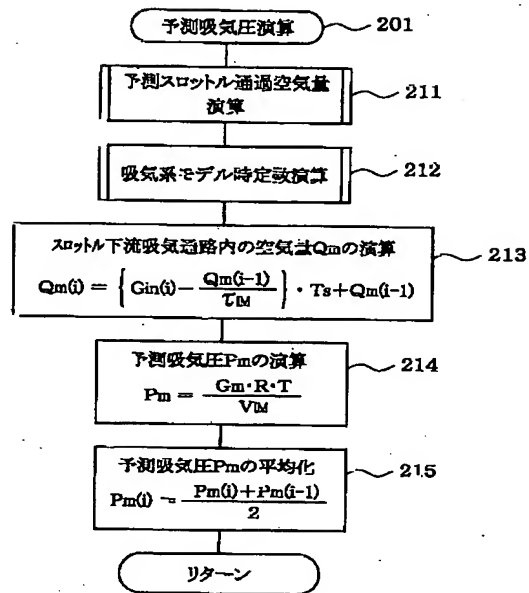
【図12】



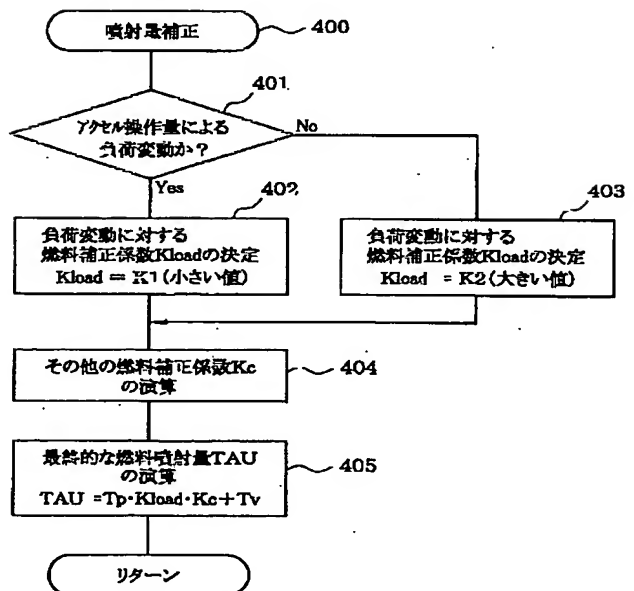
【図17】



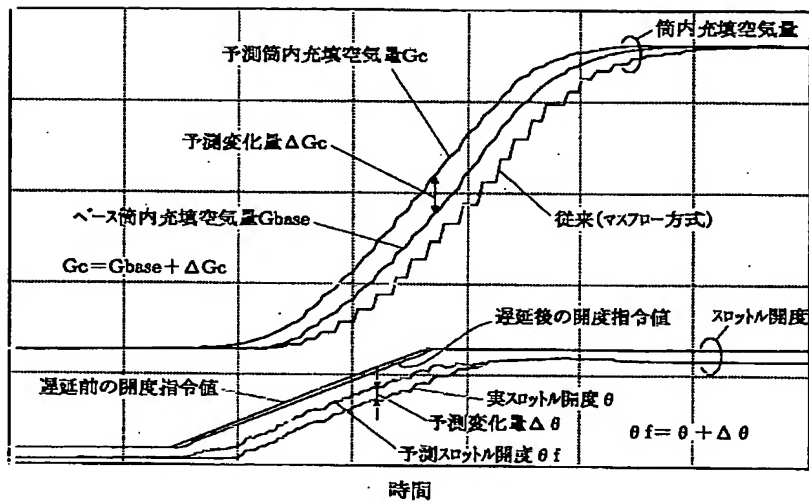
【図13】



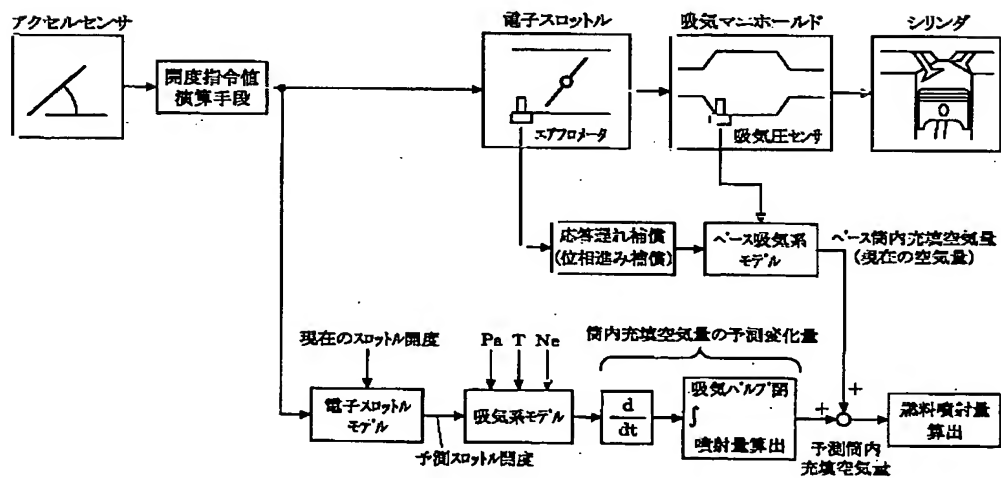
【図18】



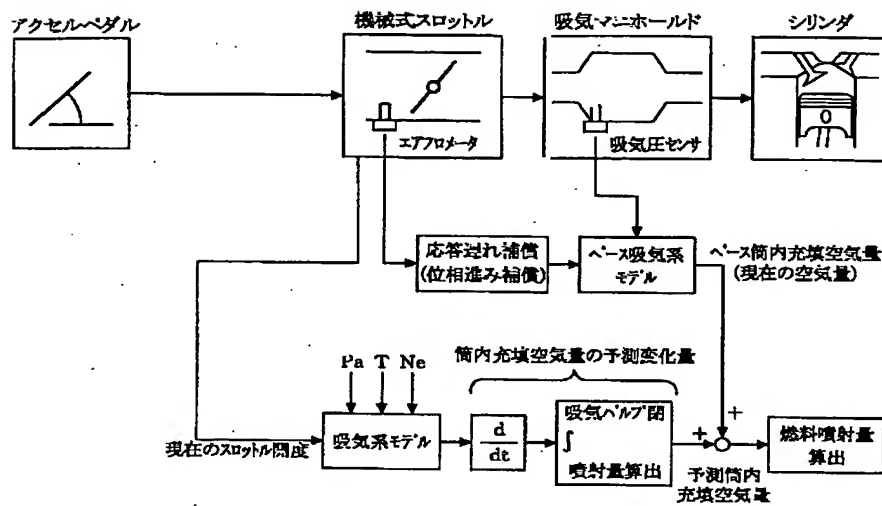
【図 19】



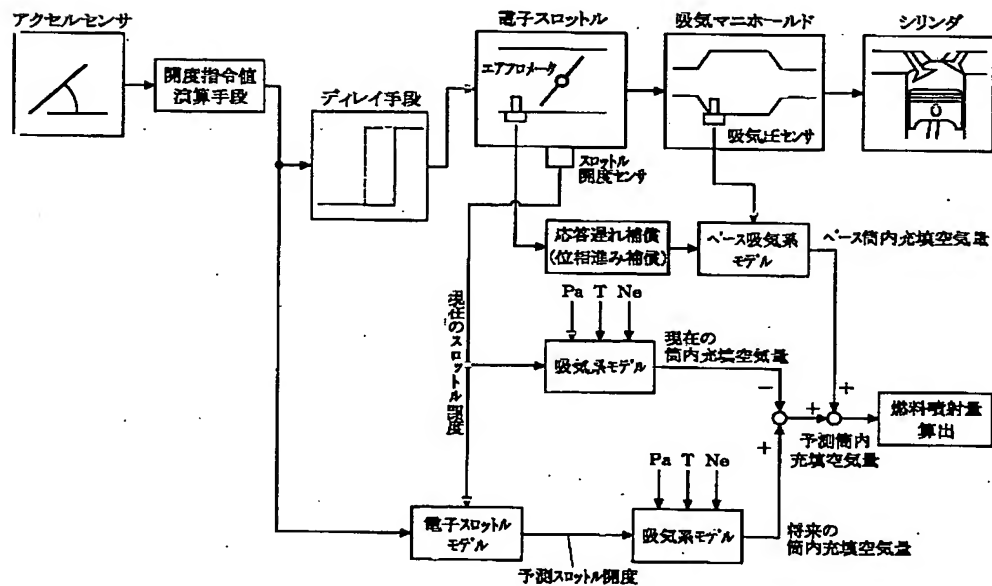
【図20】



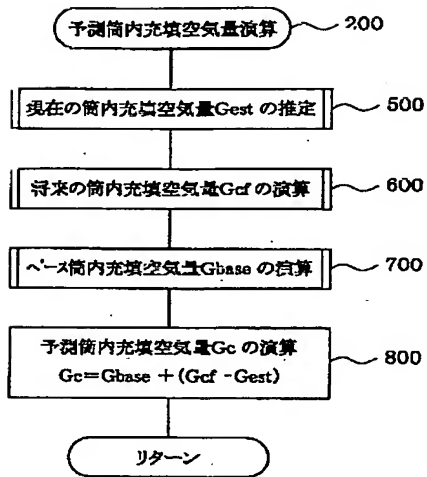
【図21】



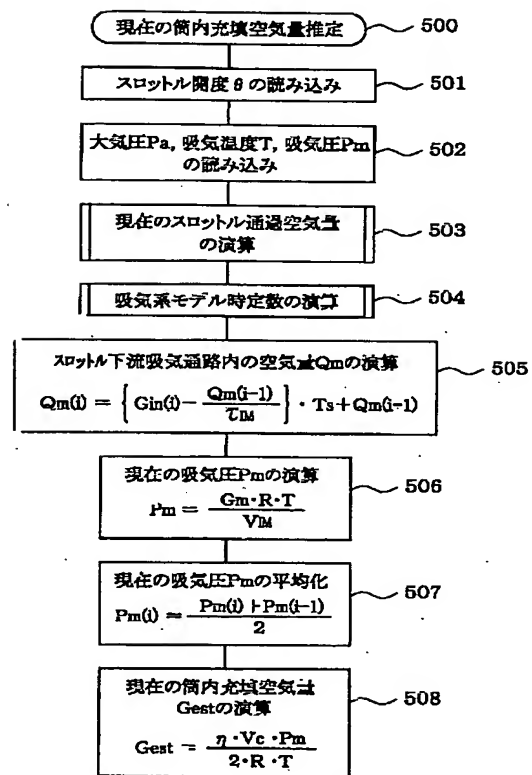
【図22】



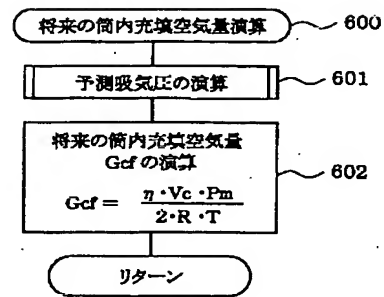
【図23】



【図24】



【図25】



フロントページの続き

(51)Int. Cl. <sup>7</sup>		識別記号	F I		(参考)
F 0 2 D	11/10		F 0 2 D	11/10	F
	29/00			29/00	D
	41/04	3 0 5		41/04	3 0 5 B
		3 3 0			3 3 0 B
					3 3 0 C
	41/06	3 3 0		41/06	3 3 0 B
	41/08	3 3 0		41/08	3 3 0 B
	43/00	3 0 1		43/00	3 0 1 H
					3 0 1 K

Fターム(参考) 3G065 CA11 DA05 DA06 DA15 EA04  
EA05 FA04 FA12 GA05 GA10  
GA27 GA46 HA06 HA21 HA22  
JA04 JA09 JA11 KA02  
3G084 BA04 BA09 BA13 BA15 CA01  
CA02 CA03 DA04 EA04 EB02  
EB06 EB12 EB16 EB25 EC01  
EC04 EC07 FA08 FA10 FA11  
FA13 FA26 FA36 FA39  
3G093 AA05 BA14 CA01 CA03 CA04  
DA01 DA03 DA06 DA07 DA09  
EA09 FA02 FA04 FA07 FA11  
FA14  
3G301 HA01 JA03 JA28 JA29 KA01  
KA05 KA07 KA12 LA03 LB02  
LC04 MA01 MA12 NA02 NA07  
NA09 NB06 ND02 ND45 NE22  
PA01Z PA07Z PA11A PA11Z  
PE01Z PE03Z PF03Z



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**